

УДК 538.958

**ДВУХФОТОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕОДИМОГО
ЛАЗЕРА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ZnS_xSe_{1-x}** **В.Г.САФАРОВ, Р.А.КАРАМАЛИЕВ, Г.М. МАМЕДОВ,
Э.Ф.НАСИРОВ, В.У.МАМЕДОВ, Н.А.РАГИМОВА*****Бакинский Государственный Университет
karamaliyev@yahoo.com***

Исследовано взаимодействие наносекундных импульсов излучения неодимого лазера с системой тонких пленок ZnS_xSe_{1-x} . Определены значения коэффициентов двухфотонного поглощения в зависимости от содержания серы. Показано, что при увеличении содержания серы в составе тонкой пленки значение коэффициента двухфотонного поглощения падает.

Ключевые слова: неодимовый лазер, тонкие пленки, двухфотонное поглощение, ZnS_xSe_{1-x}

Исследование физических свойств тройных соединений представляет интерес благодаря их уникальным электрофизическим, фотоэлектрическим и оптическим свойствам. Эти материалы находят применение для изготовления акусто-электрических приборов, оптоэлектронных устройств, солнечных ячеек, инфракрасных датчиков, лазеров и т.д. Хотя к настоящему времени уже разработаны различные способы для получения пленок ZnS_xSe_{1-x} (осаждение из паровой фазы, катодное распыление, химическое осаждение методом пульверизации, квазистационарное напыление и др.), однако все они из-за трудностей управления технологическим процессом или из-за непроизводительности постепенно теряют свою актуальность. С этой целью, в настоящее время благодаря своей простоте и низкой стоимости более широко используется метод электрохимического осаждения из раствора [1-3].

В данной работе изучены нелинейно-оптические свойства тонких пленок ZnS_xSe_{1-x} , где $0 \leq x \leq 0.7$ полученных методом электрохимического осаждения. Известно, что для этих тонких пленок частота рекомбинационного излучения больше частоты возбуждающего света. Поэтому исследование нелинейно-оптических процессов, в частности, определение коэффициента двухфотонного поглощения тонких пленок ZnS_xSe_{1-x}

представляет большой интерес. Отметим, что в настоящее время в литературе сведения о двухфотонном поглощении в материалах системы ZnS_xSe_{1-x} почти отсутствуют.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Изучаемые пленки ZnS_xSe_{1-x} созданы методом электрохимического осаждения из водного раствора, содержащего соли цинка ($ZnCl_2$), натрия ($Na_2S_2O_3$) и оксид селена (SeO_2). При этом в качестве подложек (катада) брались пластинки кварц/ In_2O_3 , а материалом анода служили молибденовая пластинка, или же угольная палочка. Перед погружением в раствор подложки сначала протравливались в смеси $KOH+KNO_3$ (1:3) в течение 48 часов при 300 К, а далее тщательно промывались проточной бидистиллированной водой и сразу погружались в химический раствор. Электрохимическое осаждение производилось при комнатной температуре. При этом катод-анодное расстояние составляло $2 \div 3$ см, а катодный потенциал осаждения и плотность тока в растворе менялись в пределах $V_k = -0.1 \div 1.2$ В и $j = 12 - 34$ мА/см², соответственно. Толщина полученных пленок варьировалась в пределах $2 \div 6$ мкм, в зависимости от длительности процесса осаждения. Брались пленки с $0 \leq x \leq 0.7$, состав которых контролировался химическим, спектральным, термическим и рентгенофазовым анализами. Тип проводимости пленок, определялся по знакам термо-э.д.с и коэффициента Холла, а концентрация свободных носителей заряда в них в зависимости от состава, определялась по коэффициенту Холла и при 300 К составляла $(4 \div 8) \cdot 10^{15}$ см⁻³. Рабочая площадь изучаемых пленок находилась в пределах $0.04 \div 2$ см².

Для определения коэффициента двухфотонного поглощения системы тонких пленок ZnS_xSe_{1-x} на кварцевой подложке при температуре 300К использовалось излучение неодимового лазера. Длина волны генерируемого излучения неодимового лазера равна $\lambda=1064$ нм ($\hbar\omega=1,165$ эВ). Известно, что $E_g^{ZnSe} = 2,77$ эВ и $E_g^{ZnS} = 3,70$ эВ [2]. Ширина запрещенной зоны исследуемых нами тонких пленок ZnS_xSe_{1-x} меняется в интервале 2,44 - 3,60 эВ. Ввиду того, что толщины тонких пленок использованных при проведении экспериментальных исследований меняется в интервале $2 \div 6$ мкм для измерения двухфотонного поглощения этих образцов была использована балансовая схема [4].

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Неодимовый лазер 1 работал в режиме модулированной добротности. Длительность импульса генерации лазера составляет 10 нс. Диафрагмой 2 из пучка света неодимового лазера выделяется участок с примерно постоянной по сечению плотностью излучения. Образцы тонких пленок 3 облучались перпендикулярно к поверхности пленки.

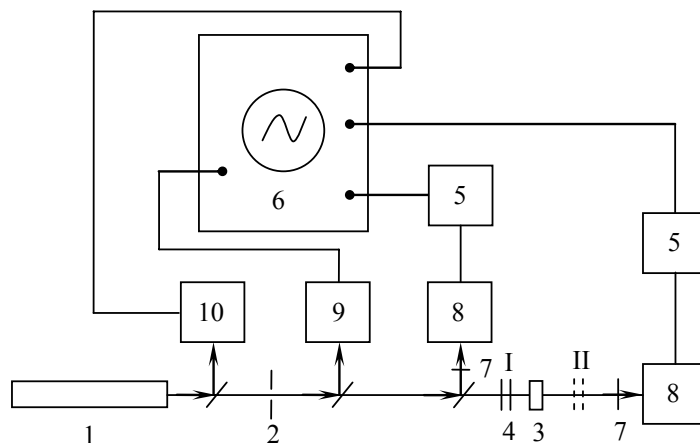


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1- неодимовый лазер, 2- диафрагма, 3- образец, 4- фильтр, 5- детектор, 6- осциллограф, 7- компенсирующие фильтры, 8, 9, 10- фотоэлементы

Перед образцом ставился набор линейно ослабляющих стеклянных фильтров 4 для линейного ослабления интенсивности излучения неодимового лазера. Сигнал с двух коаксиальных фотоэлементов 8, регистрирующих излучения до ослабляющих фильтров (опорный сигнал) и после образца, растягивались при помощи пиковых детекторов 5, подавались на балансный выход запоминающего осциллографа 6. Амплитуды сигналов детекторов выравнялись компенсирующими фильтрами 7, после чего ослабляющие фильтры представились из положения I до образца в положение II после образца. Интенсивность и падающей на образцы излучения неодимового лазера изменялась в интервале $0 \div 50 \text{ Дж/см}^2$. В зависимости от разбалансировки определялась величина нелинейности поглощения опытного образца тонкой пленки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В случае нелинейного двухфотонного поглощения изменение интенсивности плоской волны dI/dz при прохождении толщины образца dz описывается уравнением [5]:

$$\frac{dI}{dz} = -\alpha I - \beta I^2, \quad (1)$$

где α и β - коэффициенты однофотонного и двухфотонного поглощения. Интегрируя (1) можно получить следующую формулу для вычисления коэффициента двухфотонного поглощения β исследуемого образца:

$$\frac{I_0}{I_d} \cdot \frac{(1-R)^2}{e^{\alpha d}} = 1 + \frac{\beta (1-e^{-\alpha d})(1-R)}{\alpha} \cdot I_0 \quad (2)$$

Здесь I_0 и I_d – интенсивности излучения света до и после образца, соответственно, R – френелевский коэффициент отражения поверхности пленки, α – коэффициент линейного поглощения, d – толщина образца. Из (2) нетрудно получить следующее выражение для отношения интенсивностей излучения неодимового лазера до I_0 и после I_d образца:

$$\frac{I_0}{I_d} = \frac{e^{\alpha d}}{(1-R)^2} + \frac{\beta(e^{\alpha d} - 1)}{\alpha(1-R)} I_0 = A + \beta B I_0 \quad (3)$$

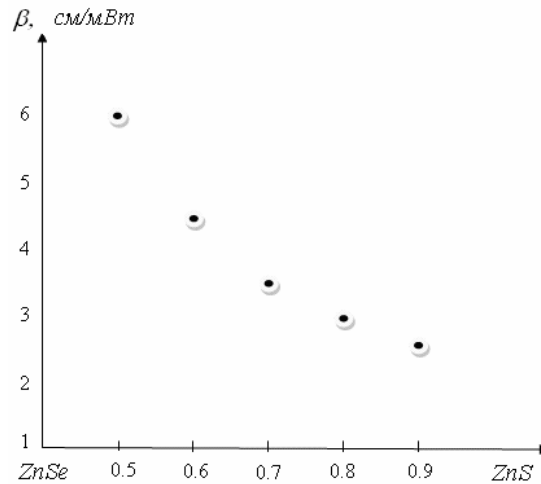


Рис.2. Зависимость коэффициента двухфотонного поглощения β исследуемых образцов от состава x .

Как видно из формулы (3) угол наклона этой прямой позволяет определить коэффициент двухфотонного поглощения. Коэффициент двухфотонного поглощения β связан с мнимой частью нелинейной кубической восприимчивости $\chi^{(3)}$ среды следующим образом:

$$\text{Im} \chi^{(3)} = \frac{\beta c^2 N^2}{32 \pi^2 \omega} \quad (4)$$

где c – скорость света, N – концентрация частиц.

Если поглощение в образце мало ($\alpha d, I_0 \beta d \ll 1$), то из условия баланса на любом сигнале можно получить следующее выражение для определения коэффициента двухфотонного поглощения:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{I_0(1-R)d} \quad (5)$$

где V_0 – амплитуда опорного сигнала.

На рис.2 приведена зависимость коэффициента двухфотонного поглощения β исследуемых образцов от состава x . Из рисунка видно, что с

увеличением содержания серы S наблюдается уменьшение значения коэффициента двухфотонного поглощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kumar V., Gaur J., Sharma M.K., Sharma T.P. Study of structure, composition and optical properties of $ZnS_{0.5}Se_{0.5}$ films as a function of sintering temperature // Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials, 2009, v.1, №1, p. 52-58.
2. Валеев Р.Г., Романов Э.А., Гильмутдинов В.Ф. Зависимость ширины запрещенной зоны от состава тонких нанокompозитных пленок ZnS_xSe_{1-x} ($x=0,36; 0,68; 0,73$) // Вестник Удмуртского Университета. Физика и химия, 2011, в. 1, с.3-5.
3. Днепровский В.С., Жуков Е.А., Кабанин Д.А., Лясковский В.Л., Ракова А.В. // Нелинейное поглощение и преломление света в коллоидном растворе квантовых точек CdSe/ZnS при резонансном двухфотонном возбуждении, 2007, ФТТ, т.49, № 2, с.352-356.
4. Боброва Е.А., Вавилов В.С., Галкин Г.Н., Епифанов М.С., Мехтиев Р.Ф., Сафаров В.Г. ФТП, т.11. 1977, с 132.
5. Boyd R.W. Nonlinear Optics/Academic Press, New York, 2003,578 p.

ZnS_xSe_{1-x} NAZİK TƏBƏQƏLƏRDƏ NEODİM LAZER ŞÜALANMASININ İKİ FOTONLU UDULMASI

V.H.SƏFƏROV, R.Ə.KƏRƏMƏLİYEV, H.M.MƏMMƏDOV, E.F.NƏSİROV,
V.U.MƏMMƏDOV, N.Ə.RƏHİMOVA

XÜLASƏ

Neodim lazerinin nanosaniyə şüalanma impulslarının ZnS_xSe_{1-x} nazik təbəqələr sistemi ilə qarşılıqlı təsiri tədqiq olunmuşdur. Kükürdün miqdarından asılı olan ikifotonlu udulma əmsalı təyin olunmuşdur. Nazik təbəqədə kükürdün miqdarı artanda ikifotonlu udulma əmsalının qiymətinin azalması qeyd olunmuşdur.

Açar sözlər: neodim lazeri, nazik təbəqələr, ikifotonlu udulma, ZnS_xSe_{1-x}

TWO-PHOTON ABSORPTION OF NEODYMIUM LASER RADIATION IN ZnS_xSe_{1-x} THIN FILMS

V.H.SAFAROV, R.A. KARAMALIYEV, H.M. MAMEDOV,
E.F.NASIROV, V.U.MAMEDOV, N.A.RAGIMOVA

SUMMARY

Interaction of nanosecond radiation pulses of neodymium laser with the system thin films ZnS_xSe_{1-x} is investigated. Values of two-photon absorption coefficients depending on the sulphur content are defined. It is shown that with an increase in the sulfur content in thin films the value of two-photon absorption coefficient falls.

Keywords: neodymium laser, thin films, two-photon absorption, ZnS_xSe_{1-x} .

Поступила в редакцию: 09.09.2011 г.

Подписано к печати: 03.10.2011 г.