

## ФОТОННОЕ ЭХО В ОДНОСЛОЙНЫХ И ТРЕХСЛОЙНОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ РАЗЛИЧНОЙ НАНОРАЗМЕРНОЙ ТОЛЩИНЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

И.И. Попов<sup>1,3</sup>, Н.С. Вашурин<sup>1,3</sup>, С.И. Никитин<sup>2</sup>,  
В.Т. Сидорова<sup>3</sup>, С.А. Степанов<sup>3</sup>, Н.И. Сушенцов<sup>1</sup>, Р.В. Юсупов<sup>2</sup>

*1- Поволжский государственный технологический университет*

*2- Казанский федеральный (государственный) университет*

*3- Марийский государственный университет*

popov@volgatech.net

Сообщается о цикле экспериментальных исследований, посвященных регистрации параметров фемтосекундных сигналов оптических переходных процессов, включающих первичное фотонное эхо, стимулированное фотонное эхо, самодифракцию, четырехволновое смешение в различных по толщине (от 100 нм до 2,4 мкм) тонких пленках оксида цинка, трехслойной пленки  $ZnO/Si^+/Si^-$  и однослойных пленках  $Si^+$  и  $Si^-$ , входящих в состав трехслойной пленки. Данная работа является продолжением ранее начатых исследований [1] полупроводниковых тонких пленок  $ZnO$  и  $ZnO/Si^+/Si^-$  методом первичного фотонного эха и самодифракции. Проведено измерение значений времени необратимой продольной релаксации  $T_1$  и времени необратимой поперечной релаксации  $T_2$ .

Эксперимент проводился на базе центра коллективного пользования Казанского Федерального Университета. На выходе из фемтосекундной лазерной системы импульсы были со следующими параметрами:  $F=1$  кГц, мощность в одном импульсе  $>1$  мДж, длительность импульса  $\sim 35$  фс, длина волны 800 нм.

Сигналы четырехволнового смешения и стимулированного фотонного эха, самодифракции и первичного фотонного эха, возбуждаемые в полупроводниковых пленках различной толщины при комнатной температуре в режиме двухфотонного резонанса наблюдались в направлениях  $k_4 = -k_1 + k_2 + k_3$ ,  $k_5 = -k_2 + k_1 + k_3$  или  $k_6 = -k_3 + k_1 + k_2$  при различных комбинациях временной последовательности импульсов  $(\tau_1, \tau_2, \tau_3)$ ,  $(\tau_2, \tau_1, \tau_3)$  и  $(\tau_3, \tau_2, \tau_1)$ , соответственно.

На рис.1. приведены кривые спада интенсивности стимулированного фотонного эха при увеличении временного интервала  $\tau_{23}$  между возбуждающими импульсами при постоянном значении временного интервала  $\tau_{12}$  для пленок оксида цинка толщиной 600 нм, 800 нм и 2,4 мкм.

Из рисунка следует факт уменьшения значения времени необратимой продольной релаксации  $T_1$  при толщинах пленки меньших длины волны излучения. Это связано с меньшим вкладом неупругих столкновений вдоль направления возбуждения (поперек пленки) по сравнению

со столкновениями, ортогональными направлению возбуждения (в плоскости пленки), в уменьшение населенности возбужденного уровня резонансного квантового перехода. Что приводит, из-за малой толщины пленки, к уменьшению суммарного количества неупругих столкновений возбужденных частиц по сравнению с их величиной в толстых пленках и кристаллах.

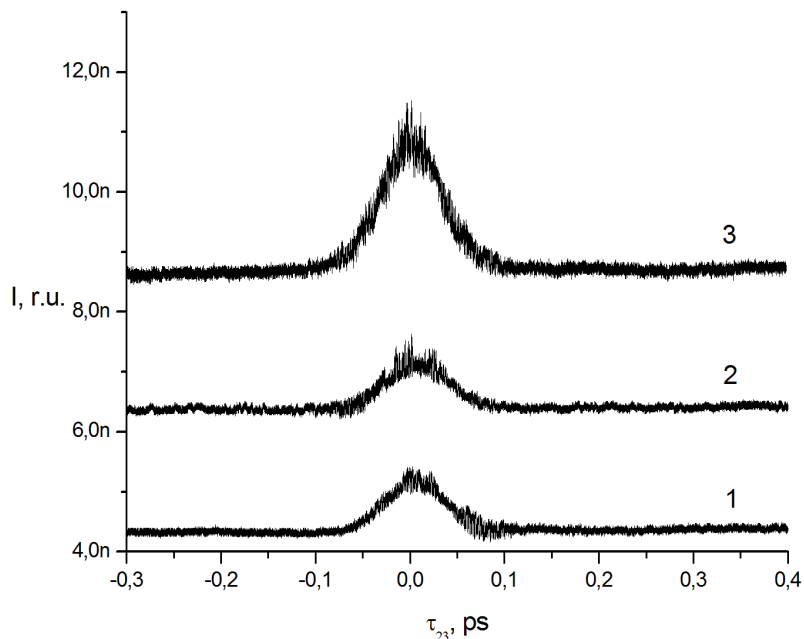


Рис.1 Кривые спада интенсивности стимулированного фотонного эха при увеличении временного интервала  $\tau_{23}$  между возбуждающими импульсами при постоянном значении временного интервала  $\tau_{12}$  для пленок оксида цинка толщиной 2,4мкм (1), 800нм (2) и 600нм (3).

На рис.2. приведены аналогичные кривые для различных полупроводниковых пленок: трехслойная пленка ZnO/Si<sup>+</sup>/Si (1); пленка Si<sup>+</sup> (2); пленка Si (3) и пленка ZnO (4). Из рисунка следует, что из-за диффузии носителей на границе полупроводникового перехода, образованного различными полупроводниковыми пленками, происходит значительное увеличение времени необратимой продольной релаксации  $T_1$ . Аналогичный эффект увеличения времени необратимой поперечной релаксации  $T_2$  наблюдался при снятии в этих же пленках кривых спада первичного фотонного эха в зависимости от увеличения временного интервала  $\tau_{12}$  между первым и вторым возбуждающими импульсами [3]. При этом время релаксации  $T_1$  всегда превышало значение времени  $T_2$ . Также из рисунка видно, что наибольшее время затухания решетки населенностей, состоящей из экситонов, наблюдается на трехслойной пленке Si<sup>+</sup>/Si-/ZnO. Это закономерность лежит в пределах объяснения диффузии зарядов двух знаков в полупроводниках с биполярной проводимостью[2]. Объемный заряд, возникающий при диффузии носителей одного типа, может компенсироваться носителями другого типа. Таким образом, за счёт компенсации зарядов в биполярных

полупроводниках, снижается количество возбуждаемых экситонов, что приводит к большему времени затухания из-за уменьшения их поперечного взаимодействия.

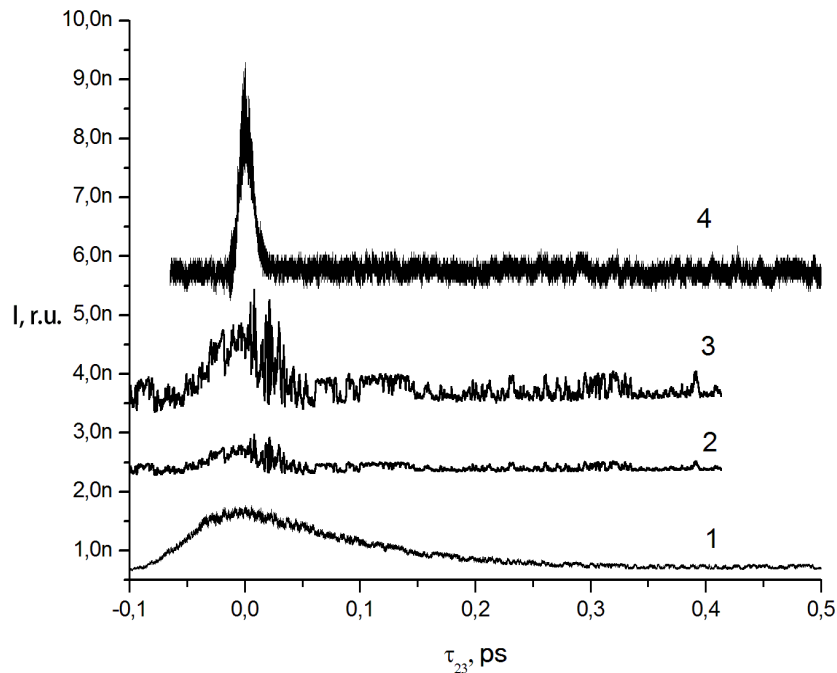


Рис.2. Зависимости интенсивности спада стимулированного фотонного эха от времени между возбуждающими импульсами  $\tau_{23}$  для различных полупроводниковых пленок: 1. 3-хслойная пленка ZnO/Si<sup>+</sup>/Si<sup>-</sup>; 2. пленка Si<sup>+</sup>; 3. пленка Si<sup>-</sup>; 4. пленка ZnO.

Работа поддержана грантом РФФИ №12-02-00736а и Единым заказ-нарядом Минобрнауки для Марийского государственного университета на 2012-2014 годы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И. И., Вашурин Н.С., Газизов К. Ш., Путилин С. Э., Степанов С. А., Сушенцов Н. И., Сидорова В. Т. // Известия РАН серия физическая. 2012. Т. 76 № 3. С. 322–325.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г., Физика полупроводников, М., 1977; Зеегер К., Физика полупроводников, пер. с англ., М., 1977.
3. Мороз А.В., Вашурин Н.С., Попов И.И., Степанов С.А., Сушенцов Н.И., Филимонов В.Е. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2. С. 64-72.