

Исследование оптических свойств фотонного эха в наноразмерных полупроводниковых пленках

И. И. Попов^{1,*}, Н. С. Вашурин^{1,†}, С. Э. Путилин², С. А. Степанов¹, Н. И. Сушенцов¹

¹Поволжский государственный технологический университет,
радиотехнический факультет, кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры
Россия, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

²Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий,
механики и оптики, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр-т, д. 49

Сообщается о цикле экспериментальных работ по исследованию при комнатной температуре релаксационных процессов в ансамбле квантовых точек в наноразмерных полупроводниковых пленках с помощью фемтосекундного фотонного эха. Приведены результаты экспериментального исследования оптических свойств фотонного эха формируемого в наноразмерных функциональных пленках для элементной базы оптоэлектроники.

PACS: 42.50.Hz.

УДК: 535.016.

Ключевые слова: фотонное эхо, квантовые точки, полупроводниковые тонкие пленки, экситоны, поверхностные дефекты.

1. Исследование релаксационных процессов в ансамбле квантовых точек в наноразмерных полупроводниковых пленках на основе фотонного эха

Анализируются результаты экспериментальных работ по исследованию релаксационных процессов в ансамбле квантовых точек наноразмерных полупроводниковых пленок при комнатной температуре с помощью фемтосекундного фотонного эха [1]. В качестве резонансной среды использовались как однослойные, так и трехслойные полупроводниковые пленки, полученные методом магнетронного вакуумного распыления, имеющие волоконно-кристаллическую структуру с промежутками между волокнами, заполненными аморфной фазой. На поверхностных дефектах кристаллической решетки волокон, формирующихся в зоне раздела фаз кристаллит/ аморфная фаза, возникают экситонные и биэкситонные переходы [2]. Зоны поверхностных дефектов на которых возникают экситонные и биэкситонные переходы обладают свойствами квантовых точек. Поскольку размеры этих дефектов неоднородны, то и свойства квантовых точек, формирующихся на их основе можно воспринимать как проявление свойств ансамбля неоднородных по размеру квантовых точек. Установлено, что при изменении угла между волновыми векторами возбуждающих лазерных импульсов имеет место смещение спектра возбуждающего лазерного излучения (использующееся в методике угловой оптической эхо-спектроскопии, предложенной в работах В. А. Зуйкова и В. В. Самарцева [3]). Это смещение позволяло в пределах набора экситонных квантовых переходов полупроводникового перехода перевести процесс формирования фотонного эха с одно-

го экситонного/биэкситонного перехода на другой. Это приводило к тому, что при разных углах между волновыми векторами возбуждающих импульсов возбуждались разные экситонные/биэкситонные переходы, и регистрируемые при этом времена необратимой поперечной релаксации T_2 имели различные значения.

Также установлен факт увеличения времени релаксации T_2 при уменьшении размеров кристаллических волокон и, соответственно, размеров дефектов на их поверхности, что соответствует работам других исследователей [4], в которых показано, что время релаксации T_2 резонансной среды, содержащей квантовые точки, увеличивается с уменьшением размера квантовых точек.

При уменьшении размеров квантовых точек уменьшается зависимость интенсивности фотонного эха от угла между возбуждающими импульсами. Уменьшение размеров квантовых точек, возможно при уменьшении размеров поверхностных дефектов при уменьшении размеров кристаллических волокон. Это, в свою очередь, бывает возможно при уменьшении толщины пленки, что приводит к незначительному изменению количества возбуждаемых активных частиц при значительном изменении угла между волновыми векторами возбуждающих импульсов. В толстых пленках увеличение этого угла приводит к уменьшению возбуждаемых активных частиц, что приводит к уменьшению интенсивности эхо-сигнала, так как интенсивность фотонного эха пропорциональна квадрату числа этих частиц.

Также приводятся результаты регистрации биений на кривой спада интенсивности фотонного эха при возрастании временного интервала между возбуждающими импульсами. Эти биения позволяют оценить расщепление компонент сверхтонкой структуры возбуждаемой спектральной линии полупроводникового перехода.

*E-mail: popov@volgatech.net

†E-mail: nickita_vashurin@mail.ru

2. Оптические свойства фотонного эха в наноразмерных функциональных пленках для элементной базы оптоэлектроники

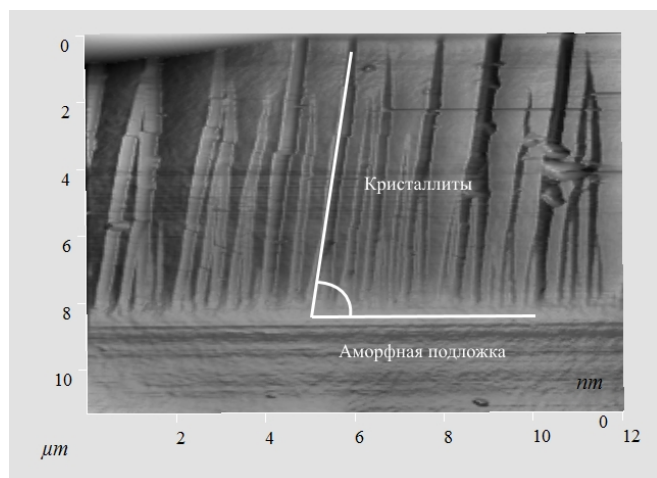


Рис. 1: Изображение скола наноразмерной пленки, полученной методом вакуумно-магнетронного распыления, показывающей расположение кристаллических волокон и аморфную фазу, заполняющую пространство между ними.

Сообщается об экспериментальном исследовании оптических свойств фотонного эха формируемого в наноразмерных функциональных пленках для элементной базы оптоэлектроники [5]. Исследуемые пленки изготавливались методом магнетронного вакуумного распыления. Они имели волоконную кристаллическую

структуру. Максимальный диаметр волокон лежал в диапазоне от 50 до 200 нм. Высота волокон (толщина пленок) находилась в диапазоне от 100 до 2400 нм. Промежутки между волокнами были заполнены аморфной фазой (Рис. 1).

Дефекты кристаллической структуры волокон, возникающие на их поверхности на границе раздела кристалл/аморфная фаза, приводили к возникновению экситонных и биэкситонных квантовых переходов внутри запрещенной зоны полупроводникового перехода [2]. Путем возбуждения в таких пленках сигналов фемтосекундного фотонного эха и его исследования оценивалось качество поверхности кристаллических волокон, составляющих исследуемую пленку.

Оптические свойства однослойных и многослойных тонких полупроводниковых пленок наноразмерной толщины показаны на образцах, имеющих отличающийся тип проводимости. Приводятся результаты экспериментального исследования влияния диффузии зарядов на полупроводниковом переходе. Этот процесс регистрировался как при наличии однородного электрического поля, так и без него. Оценивается возможность использования полученных результатов при создании элементной базы оптоэлектроники на квантовых точках. Примером таких микроэлектронных и оптоэлектронных приборов могут быть нанодиоды и нанотранзисторы.

Сообщаются условия и особенности выполненных экспериментов по наблюдению фемтосекундного фотонного эха в исследуемых тонких полупроводниковых пленках.

- [1] *Вашурин Н. С. и др.* Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. №1. (83). С. 65. (2013).
 [2] *Попов И. И. и др.* Известия РАН. Сер. физ. **78**, №3. С. 309. (2014).
 [3] *Зуйков В. А. и др.* Оптика и спектроскопия. **84**, в. 5. С. 786. (1998).
 [4] *Masumoto Yasuaki, Takagahara T.* Semiconductor

Quantum Dots: Physics, Spectroscopy and Applications. (Springer, 2002).

- [5] *Мороз А. В. и др.* Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. №2. С. 64. (2012).

Study of optical properties of photon echo in nanoscale semiconductor films

I. I. Popov^{1,a}, N. S. Vashurin¹, S. E. Putilin², S. A. Stepanov¹, N. I. Sushentsov¹

¹Department of design and manufacture of radio, Faculty of Radio Engineering, Volga State University of Technology. Yoshkar-Ola 424000, Russia.

²Department of Photonics and Optoinformatics, Faculty of Photonics and Optoinformatics, St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics. St. Petersburg 197101, Russia.

E-mail: ^apopov@volgatech.net

Reported on a series of experimental studies of at room temperature relaxation processes in an ensemble of quantum dots in nanoscale semiconductor films using femtosecond photon echo. The results of the experimental study of the optical properties of photon echo generated in nanoscale functional films for optoelectronic element base are presented.

PACS: 42.50.Hz.

Keywords: photon echo, quantum dots, semiconductor thin films, excitons, surface defects.

Сведения об авторах

1. Попов Иван Иванович — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры Конструирования и Производства Радиоаппаратуры; тел.: 8 (927) 684-32-97, e-mail: popov@volgatech.net.
2. Вашурин Никита Сергеевич — аспирант; тел.: 8 (927) 684-16-80, e-mail: nickita_vashurin@mail.ru.
3. Путилин Сергей Эдуардович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник; тел.: 8 (812) 323-64-37, e-mail: seputilin@yandex.ru.
4. Степанов Сергей Александрович — программист; тел.: 8 (927) 684-39-13, e-mail: stepan_mail@mail.ru.
5. Сушенцов Николай Иванович — канд. тех. наук, доцент, заведующий кафедрой Конструирования и Производства Радиоаппаратуры; тел.: 8 (902) 325-00-85, e-mail: SushentsovNI@volgatech.net.