

Нефарадеевский поворот вектора поляризации стимулированного фотонного эха в тонкой поликристаллической пленке ZnO/Si(P)/Si(B)

И. И. Попов^{1,*}, Н. С. Вашурин^{1,†}, С. Э. Путилин^{2‡}

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
Россия, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

²ФГА ОУВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»
Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49

В данной работе описываются результаты экспериментального наблюдения при комнатной температуре эффекта нефарадеевского поворота вектора линейной поляризации сигналов фемтосекундного стимулированного фотонного эха, возбуждаемого в трехслойной полупроводниковой пленке ZnO/Si(P)/Si(B).

PACS: 42.25.Kb

УДК: 535.41

Ключевые слова: эффект Фарадея, тонкие пленки, экситоны, фотонное эхо.

В данной работе описываются результаты экспериментального наблюдения при комнатной температуре эффекта нефарадеевского поворота вектора линейной поляризации сигналов фемтосекундного стимулированного фотонного эха, возбуждаемого в трехслойной полупроводниковой пленке ZnO/Si(P)/Si(B). Данный эксперимент принципиально отличался от результатов работы [1,2] тем, что магнитное поле прикладывалось к резонансной среде вдоль направления распространения возбуждающего лазерного излучения, а не поперек его. Также наш эксперимент по наблюдению фотонного эха выполнен при комнатной температуре и фемтосекундной длительности возбуждающих импульсов, в то время как авторы работы [1,2] получили результаты наблюдения фотонного эха при гелиевой температуре и наносекундной длительности возбуждающих импульсов. Эффект нефарадеевского поворота ранее наблюдался в парах молекулярного йода при воздействии на них продольного однородного магнитного поля, магнитные силовые линии которого были направлены вдоль направления распространения возбуждающих лазерных импульсов [3]. В нашем эксперименте сигнал фотонного эха формировался в экситонном газе, в котором были выполнены условия для наблюдения этого эффекта, аналогичные приведенным в работе [3]. Под действием магнитного поля происходило расщепление квантовых уровней резонансной линии на два подуровня, при чем на величину, отличающуюся не только по знаку, но и по абсолютному значению. При этом возникала дополнительная прецессия системы координат, в которой осуществляется прецессия псевдоэлектрического диполя суперпозиционного состояния без воздействия магнитного поля,

вокруг вектора \mathbf{H} с частотой Ларморового вращения

$$\Omega_{ab} = (\varepsilon_a + \varepsilon_b)/2\hbar, \quad (1)$$

здесь $\varepsilon_{a,b} = \mu_0 g_{a,b} H$, μ_0 — ядерный магнетон, $g_{a,b}$ — гиромагнитное отношение основного состояния к возбужденному. Другая пара подуровней прецессирует с частотой

$$\Omega_{aA} = (\varepsilon_a + \varepsilon_A)/2\hbar. \quad (2)$$

Это различие в скоростях прецессии приводит к наблюдаемому эффекту. Впервые теоретическое предсказание эффекта специфического поворота вектора линейной поляризации фотонного эха в газе сделано авторами работ [4,5], в которых показано, что величина поворота вектора линейной поляризации стимулированного фотонного эха зависит не только от напряженности приложенного магнитного поля и g -фактора резонансной среды, как при эффекте Фарадея, но и от значения временных интервалов между возбуждающими импульсами (τ_{12} , τ_{23}). Наблюдаемый нами эффект нефарадеевского поворота вектора поляризации стимулированного фотонного эха зависел от величины временных интервалов между возбуждающими импульсами (τ_{12} , τ_{23}) и от напряженности приложенного магнитного поля. В то время как эффект Фарадея зависит от длины пути лазерного излучения в резонансной среде, от величины напряженности приложенного магнитного поля и не зависит от величины временного интервала между возбуждающими импульсами (τ_{12} , τ_{23}). Оба эффекта зависят от g -фактора среды. Величина угла нефарадеевского поворота вектора линейной поляризации стимулированного фотонного эха на 3–4 порядка больше, чем поворот вектора линейной поляризации лазерного излучения, имеющий место при эффекте Фарадея для одних и тех же значений напряженности магнитного поля и g -фактора среды.

В данной экспериментальной работе использовалась лазерная установка, позволяющая генерировать лазерные импульсы с длиной волны 780–840 нм. Формирование фотонного эха происходило на экситонных пе-

*E-mail: popov@volgatech.net

†E-mail: nickita_vashurin@mail.ru

‡E-mail: seputilin@yandex.ru

реходах при их двухквантовом возбуждении. Дальнейшая рекомбинация экситонов происходила через центры свечения, представленные в данном случае дефектами слоя оксида цинка (вакансиями цинка, и междоузельным атомом кислорода), расположенными на уровне $V_{\text{ZnO}}^O = 1,47$ эВ и $O_{i,o}^{-1} = 1,57$ эВ [6]. Таким образом, высвечивание фотонного эха происходило в пределах полуширины этих пиков излучения, рассчитываемой по формуле:

$$\Delta R' = \sqrt{\frac{2E'}{K'}}, \quad (3)$$

где $E' = E + hv$, E' , E — энергии возбужденного и основного состояния соответственно, K' — коэффициент пропорциональности между приложенной силой и изменением положения атомов относительно нормального.

Остальная энергия электрона около 400 нм высвечивалась в виде кванта света некогерентно.

Эксперимент по исследованию поляризационных свойств фемтосекундного фотонного эха в трехслойной тонкой пленке ZnO/Si(P)/Si(B) проводился при фиксированных значениях временных интервалов между возбуждающими импульсами, $\tau_{23} = 720$ фс и $\tau_{12} = 0$. Резонансная среда помещалась между двумя поляризационными призмами Глана модификации Арчара-Тейлора с воздушным зазором. В случае приложения к резонансной среде продольного однородного магнитного поля вектор линейной поляризации формируемого фотонного эха имел некоторый угол относительно направления линейной поляризации возбуждающего лазерного излучения. Первая призма Глана имела фиксированное положение и формировала направление вектора линейной поляризации возбуждающего лазерного излучения. Вторая призма Глана, установленная после резонансной среды, плавно поворачивалась в плоско-

сти, ортогональной направлению распространения лазерного излучения. При совпадении плоскости поляризации второй призмы Глана с плоскостью линейной поляризации эхо-сигнала регистрировалась максимальное значение его интенсивности. При отсутствии магнитного поля плоскость линейной поляризации регистрируемого эхо-сигнала совпадала с плоскостью линейной поляризации возбуждающих импульсов. В случае приложения к резонансной среде продольного однородного магнитного поля напряженностью 0,4 Тл при временном интервале $\tau_{23} = 720$ фс и $\tau_{12} = 0$ регистрировался поворот вектора линейной поляризации фемтосекундного стимулированного фотонного эха на угол 29° . При увеличении значения временного интервала между вторым и третьим возбуждающими импульсами τ_{23} до 540 фс угол поворота вектора поляризации изменялся до 24° . При 900 фс угол поворота составил 19° . Меньшее значение угла поворота при большем интервале τ_{23} , равном 900 фс, объясняется наблюдением эффекта в разных периодах вращения вектора линейной поляризации фотонного эха.

Таким образом, в работе установлено, что в случае приложения к резонансной тонкопленочной полупроводниковой среде продольного однородного магнитного поля наблюдается поворот вектора линейной поляризации стимулированного фотонного эха, формируемого в экситонном газе. Зафиксирована зависимость величины угла поворота от временного интервала τ_{23} , разделяющего второй и третий возбуждающие импульсы. Обнаруженный эффект качественно совпадал с результатами работы [3] по обнаружению нефарадеевского поворота вектора поляризации стимулированного фотонного эха в парах молекулярного йода [3]. При этом фарадеевский поворот линейной поляризации света в резонансной среде не был зафиксирован в силу малости его значения.

- [1] Langer L., Poltavtsev S. V., Yugova I. A. Physical Review Letters. **109**. P. 157403. (2012).
 [2] Langer L., Poltavtsev S. V., Yugova I. A., Salewski M., Yakovlev D. R., Karczewski G., Wojtowicz T., Akimov I. A., M. Bayer Nature Photonics **8**. P. 851. (2014).
 [3] Bikbov I. S., Popov I. I., Samartsev V. V., Yevseyev I. V. Laserphys. **5**, N 3. P. 580. (1995).

- [4] Евсеев И. В., Ермаченко В. М. Оптика и спектроскопия. **47**, № 6. С. 1139. (1979).
 [5] Evseev I. V., Ermachenko V. M. Opt. Spectrosc. **47**(6). P. 1139. (1979).
 [6] Hu J., Pan B. C. Journal of Chemical Physics. **129**. P. 154706. (2008).

NonFaraday rotation of the polarization vector of stimulated photon echo in thin polycrystalline films ZnO/ Si(P)/Si(B)

I. I. Popov^{1,a}, N. S. Vashurin^{1,b}, S. E. Putilin^{2,c}

¹Volga State University of Technology

Russia, 424000, Yoshkar-Ola, pl. Lenina, 3

²Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

Russia, 197101, St. Petersburg, Kronverksky pr., 49

E-mail: ^apopov@volgatech.net, ^bnickita_vashurin@mail.ru, ^cseputilin@yandex.ru

This paper describes the results of an experimental observation at room temperature effect NonFaraday rotation of the polarization vector of signals femtosecond stimulated photon echo excited in a three-layer semiconductor film ZnO/Si(P)/Si(B).

PACS: 42.25.Kb

Keywords: Faraday effect, thin films, excitons, photon echo.

Received 27.07.2015.

Сведения об авторах

1. Вашурин Никита Сергеевич — аспирант кафедры Конструирования и производства радиоаппаратуры ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»; тел.: (8362) 68-78-06, e-mail: nickita_vashurin@mail.ru.
2. Попов Иван Иванович — докт. физ.-мат. наук, профессор кафедры Конструирования и производства радиоаппаратуры ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»; тел.: (8362) 68-78-06, e-mail: popov@volgatech.net.
3. Путилин Сергей Эдуардович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник; тел.: (812) 323-64-37, e-mail: seputilin@yandex.ru.