

УДК 535.2

**ФЕМТОСЕКУНДНОЕ ФОТОННОЕ ЭХО  
В ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКЕ, ЛЕГИРОВАННОЙ  
МОЛЕКУЛАМИ КРАСИТЕЛЯ,  
ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

*А.В. Леонтьев, К.В. Иванов, В.С. Лобков, Г.М. Сафиуллин,  
А.Е. Климовицкий, К.М. Салихов, В.В. Самарцев*

**Аннотация**

Обнаружены и исследованы сигналы первичного и стимулированного фемтосекундного фотонного эха в поливинилбутиральной пленке, легированной молекулами фталоцианина, при комнатной температуре, причем сигнал стимулированного эха при столь высокой температуре наблюдается впервые. Сняты кривая спада и спектр сигнала первичного фемтосекундного фотонного эха.

**Введение**

В настоящее время сформирована новая область лазерной нестационарной спектроскопии, основанная на исследовании сигналов фотонного эха, – оптическая эхо-спектроскопия, представляющая собой мощный метод исследования быстропротекающих процессов в веществе. Активно разрабатываются оптические эхо-процессоры [1], работа которых основана на явлении фотонного эха, возбуждаемого ультракороткими лазерными импульсами.

Подавляющее число оптических эхо-экспериментов в твердом теле поставлено при температуре жидкого гелия. Это связано с необходимостью подавления релаксационных процессов с участием тепловых фононов, что происходит в результате удлинения характеристических времен этих необратимых процессов релаксации [2].

Использование фемтосекундных лазерных импульсов позволяет снять эти ограничения и довести температуру образца в эхо-экспериментах до комнатных температур [3].

Данная работа посвящена экспериментальному поиску и исследованию фемтосекундного фотонного эха в полимерных пленках, легированных молекулами красителя, при комнатной температуре. Подобные материалы являются прототипами недорогих компактных носителей информации высокой плотности для использования в оптических эхо-процессорах [1].

В настоящей работе в качестве исследуемого образца использована полимерная пленка поливинилбутирала PVB толщиной 65 мкм, легированная молекулами фталоцианина марки HW 1009 в концентрации  $10^{-3} - 10^{-4}$  моль/л. Ранее было экспериментально установлено [5], что длина волны линии поглощения пленок, легированных этими молекулами на энергетическом переходе  $S_0 - S_1$ , составляет 780 нм, что совпадает с рабочей длиной волны их титан-сапфирового лазера и аналогичного усилителя, использовавшихся в нашем эксперименте.

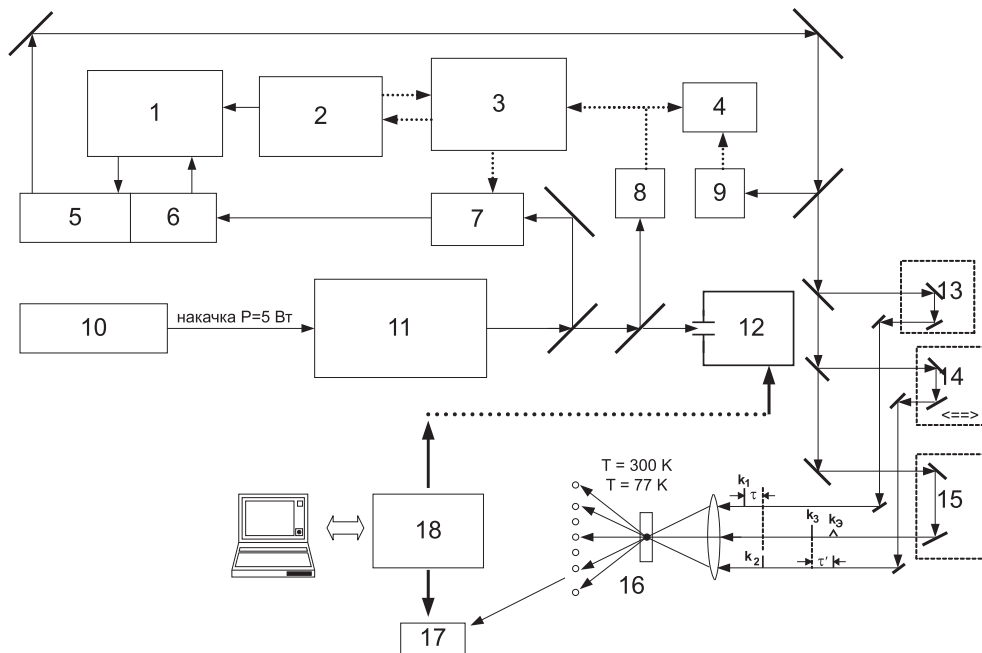


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки по обнаружению фемтосекундного фотонного эха (ФФЭ) и самодифракции в полимерной пленке, легированной молекулами красителя: 1 – усилитель (Ti:S), 2 – YAG-лазер, 3 – блок синхронизации, 4 – осциллограф, 5 – компрессор, 6 – стретчер, 7 – ячейка Поккельса, 8, 9 – PIN-диоды, 10 – Ag-лазер, 11 – фемтосекундный лазер (Ti:S), 12 – полихроматор, 13, 14, 15 – оптические линии задержки, 16 – образец, 17 – полихроматор, 18 – система сбора данных,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_E$  – волновые векторы, соответственно, первого, второго, третьего импульсов и эхо-сигнала

### 1. Экспериментальная установка

В качестве источника возбуждения в экспериментах использовалась лазерная система "Avesta Ltd" (Россия, г. Троицк, Московская обл.), включающая в себя фемтосекундный Ti:S-лазер TISSA100, с накачкой Ag-лазера ЛГН-512, и усилитель на кристалле Ti:S. Средняя выходная мощность Ti:S-лазера составляла 600 мВт при мощности накачки 6 Вт, длительность импульсов 50–60 фс, частота следования импульсов составляла 100 МГц. Усилитель представлял собой шестипроходную систему из конфокальных зеркал с предварительным chirpированием импульсов, подлежащих усилению, и последующим оптическим сжатием после усиления. Эффективность усиления достигала примерно  $10^5$  при накачке усилителя второй гармоникой YAG:Nd-лазера с энергией 10 мДж (фирма LOTIS, Беларусь). Энергия усиленного импульса составляла 600 мкДж. Частота следования импульсов после усиления составляла 50 Гц. Спектральные характеристики сигналов контролировались полихроматорами, сигналы с которых поступали в систему сбора данных.

Импульсы с волновыми векторами  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , разделенные во времени при помощи оптических линий задержки (ОЛЗ), направлялись на образец. При двухимпульсном возбуждении образца (перекрывает канал пучка  $k_3$ ) наблюдался сигнал первичного фемтосекундного фотонного эха (ПФФЭ) в направлении, заданном волновым вектором  $k_e = 2k_2 - k_1$ . В случае возбуждения образца тремя импульсами в направлении  $k_e = k_1 + k_2 + k_3$  наблюдался сигнал стимулирован-

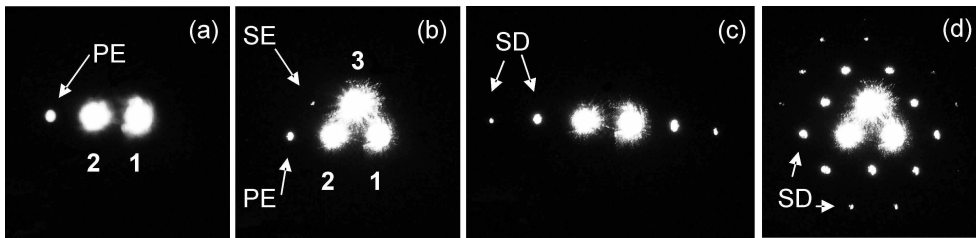


Рис. 2. Фотографии «следов» на экране от возбуждающих импульсов, эхо-сигналов и сигналов самодифракции: 1, 2, 3 – первый, второй и третий импульсы соответственно, PE – сигнал ПФФЭ, SE – сигнал СФФЭ, прочие слабые «следы» – сигналы самодифракции

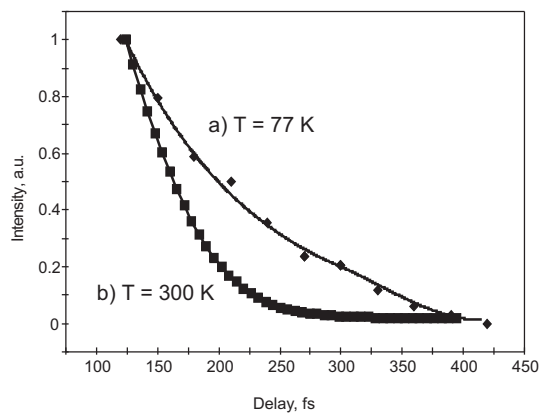


Рис. 3. Зависимость относительной интенсивности ПФФЭ от времени задержки  $\tau$  (кривая спада) при температуре жидкого азота (a) и при комнатной температуре (b)

ного фемтосекундного фотонного эха (СФФЭ). Визуально наличие сигналов ФФЭ можно было проследить, наблюдая «следы» на экране, помещенном за образцом (рис. 2). Временной интервал между первым и вторым возбуждающими импульсами варьировался с помощью линии задержки от 150 до 450 фс, а временной интервал  $\tau'$  между вторым и третьим импульсами при наблюдении стимулированного ФФЭ составлял 150–170 фс.

При двухимпульсном возбуждении и нулевом значении задержки между первыми двумя импульсами  $\mathbf{k}_1$ ,  $\mathbf{k}_2$ , на экране видна симметричная картина – первые порядки сигналов самодифракции (рис. 2, c). С увеличением задержки (рис. 2, a) сигналы самодифракции исчезают, и наблюдается только сигнал ПФФЭ на месте первого порядка дифракции. При дальнейшем увеличении задержки зафиксирован временной спад интенсивности эхо-сигнала. При возбуждении образца тремя импульсами также видна система «следов» сигналов самодифракции (рис. 2, d), с увеличением задержки между  $\mathbf{k}_1$  и  $\mathbf{k}_2$  наблюдаются сигналы ПФФЭ и СФФЭ (рис. 2, b).

## 2. Результаты и обсуждение

В данном эксперименте были сняты зависимости относительной интенсивности первичного ФФЭ от временного интервала  $\tau$  между возбуждающими импульсами, полученные при температуре жидкого азота (a) и при комнатной (b) температуре.

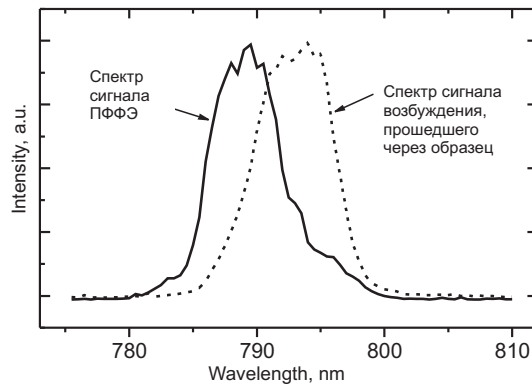


Рис. 4. Спектр сигнала ПФФЭ, полученный при комнатной температуре (сравнение с нормированным спектром сигнала возбуждения, прошедшего через образец)

Они приведены на рис. 3. Спектр этого сигнала приведен на рис. 4 с полушириной  $3 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}$ .

Анализ кривых (3a, 3b) показывает, что они не могут быть описаны простой экспоненциальной функцией. В таких ситуациях обычные оптические уравнения Блоха не описывают процессы фазовой релаксации [3]. Дело в том, что оптическая полоса поглощения примесных центров состоит из узкой бесфононной линии (БФЛ) лоренцевской формы и широкого фононного крыла (ФК). При сильном взаимодействии, реализующемся при комнатной температуре образца, БФЛ практически отсутствует. В этих условиях сигнал ФФЭ формируется примесными центрами, возбуждаемыми через фононное крыло, а кривая спада может быть описана функцией  $F(\tau, T)$  (где  $\tau$  – время задержки,  $T$  – температура образца), зависящей от типа электрон-фононного взаимодействия [3]. Поэтому, в принципе, из кривой спада ФФЭ можно определить силу электрон-фононного взаимодействия.

Отметим, что в этом режиме можно организовать процесс когерентного лазерного охлаждения, когда фотоны когерентного отклика будут уносить из образца энергию фононов, участвующих в электронно-колебательных переходах.

Настоящие исследования поддержаны РФФИ (проекты № 05-02-16003, 06-02-16491), Договором между КФТИ КНЦ РАН и НЦВТ ИОФ РАН, Программой «Ведущие научные школы» (№ НШ-1905.2003.02), Договором между КФТИ КНЦ РАН и ФИ РАН и Программой ОФН РАН «Оптическая спектроскопия и стандарты частоты».

Авторы благодарны профессору А.К. Ребане за предоставленные образцы.

### Summary

*A.V. Leontiev, K.V. Ivanin, V.S. Lobkov, G.M. Safiullin, A.E. Klimovitskiy, K.M. Salikhov, V.V. Samartsev.* Femtosecond photon echo in dye-doped polymer film at room temperature.

The two-pulse and three-pulse (stimulated) photon echoes are observed in polyvinylbutural film activated by the phthalocyanine molecules at room temperature. The intensity decay and spectrum of the two-pulse photon echo are investigated.

**Литература**

1. *Калачев А.А., Самарцев В.В.* Когерентные явления в оптике. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2003. – 281 с.
2. *Манькин Э.А., Самарцев В.В.* Оптическая эхо-спектроскопия. – М.: Наука, 1984. – 270 с.
3. *Lobkov V.S., Salikhov K.M., Samartsev V.V., Safiullin G.M., Zuikov V.A.* Femtosecond photon echo in dye-doped polymer film at room temperature // *Laser Phys. Lett.* – 2005. – V. 3, No 1 – P. 26–30.
4. *Контуров С.В., Зуйков В.А., Лобков В.С., Салихов К.М., Сафиуллин Г.М., Самарцев В.В.* Обнаружение фемтосекундного фотонного эха в полимерной пленке, легированной молекулами красителя, при температуре жидкого азота // *Когерентная оптика и оптическая спектроскопия.* – Казань, 2004. – С. 282.
5. *Zuikov V.A., Ferri M., Ollikainen O. et al.* Wave-matching of femtosecond and picosecond photon echoes in dye-doped polymer films // *Laser Phys.* – 1996. – V. 6, No 4. – P. 729–734.

Поступила в редакцию  
17.02.06

---

**Леонтьев Андрей Владимирович** – студент физического факультета Казанского государственного университета.

**Иванин Константин Валерьевич** – студент физического факультета Казанского государственного университета.

**Лобков Владимир Сергеевич** – кандидат физико-математических наук, заместитель заведующего лаборатории МФХ Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КНЦ РАН.

**Сафиуллин Георгий Маратович** – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории МФХ Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КНЦ РАН.

**Климовицкий Александр Евгеньевич** – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории физической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского государственного университета.

**Салихов Кев Минуллинович** – доктор физико-математических наук, директор Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КНЦ РАН.

E-mail: [salikhov@kfti.knc.ru](mailto:salikhov@kfti.knc.ru)

**Самарцев Виталий Владимирович** – доктор физико-математических наук, академик РАН, профессор, заведующий лабораторией нелинейной оптики Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского КНЦ РАН.

E-mail: [samartsev@kfti.knc.ru](mailto:samartsev@kfti.knc.ru)