

**Зондовая оптическая спектроскопия на основе фотонного эха**К.Р. Каримуллин<sup>1,2\*</sup> А.В. Наумов<sup>1,3†</sup><sup>1</sup>*Институт спектроскопии РАН, отдел молекулярной спектроскопии  
Россия, 142190, Москва, Троицк, ул. Физическая д. 5*<sup>2</sup>*Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского КазНЦ РАН  
Россия, 420029, Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7*<sup>3</sup>*Московский педагогический государственный университет  
Россия, 119992, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 29*

Представлен обзор исследований низкотемпературной оптической дефазировки в примесных твердых средах, допированных флуоресцирующими молекулами, и сравнительный анализ данных, полученных разными методами селективной лазерной спектроскопии, включая фотонное эхо и спектроскопию одиночных молекул.

PACS: 42.50.Md.

УДК: 535.2.

Ключевые слова: фотонное эхо, оптическая дефазировка, примесная молекула.

Методы оптической спектроскопии примесного центра широко применяются для исследования фотофизических свойств, оптической дефазировки и динамических процессов в различных средах. При изучении прозрачных твердотельных материалов в качестве примесных центров используются специально подобранные хромофорные, поглощающие свет в некотором диапазоне спектра, молекулы, играющие роль чувствительных спектральных зондов [1].

Оптические спектры хромофоров определяются переходами электронов во внешней электронной оболочке, весьма чувствительной к характеристикам ближнего локального окружения, причем наибольшей чувствительностью обладают узкие бесфононные линии (БФЛ) молекул [2]. Конфигурационные изменения в ближнем локальном окружении хромофоров, происходящие с высокой скоростью, а также фононные возбуждения этого окружения, проявляются посредством однородного уширения (оптической дефазировки) спектральных линий примесных центров. Такие процессы, как переходы атомов и молекул в двухуровневых потенциалах, обладающие большими характерными временами, приводят к малым изменениям частот индивидуальных спектральных переходов (спектральной диффузии). Таким образом, спектры примесных молекул содержат информацию о внутренней (микроскопической) динамике матрицы. Хромофорные молекулы являются практически идеальными пробными объектами, поскольку они не искажают эту динамику и обладают безынерционностью, что позволяет отслеживать сверхбыстрые изменения в локальном окружении примесного центра.

Наряду с большими возможностями оптическая спектроскопия примесного центра имеет ряд проблем. Во-первых, примесные молекулы — зонды могут вносить сильные возмущения в структуру и динамику

матрицы. Существует проблема подбора таких молекул, которые бы не искажали внутреннюю динамику исследуемой матрицы [3, 4]. Во-вторых, каждый зонд находится в несколько отличающихся условиях, которые определяются его локальным окружением. По этой причине частоты переходов различных хромофорных молекул будут иметь значительное распределение. Следовательно, спектры разных примесных центров будут сдвинуты относительно друг друга по частоте, а результирующий спектр ансамбля хромофоров будет подвержен неоднородному уширению.

Методы селективной лазерной спектроскопии, в частности, техника фотонного эха (ФЭ), позволяют устранить неоднородное уширение и дают возможность прямого измерения однородной ширины линии электронного перехода, то есть ширины, вызванной динамическими возмущениями энергетических уровней, которые присущи в равной степени всем примесным центрам с близкими по величине частотами 0–0 переходов.

Анализ температурного уширения линии спектрального перехода позволяет оценивать вклад тех или иных механизмов в ширину линии, последовательно активизирующихся с ростом температуры. Так, например, исследование температурных зависимостей ширины БФЛ, полученных в экспериментах по ФЭ для ряда примесных аморфных систем, позволило четко разделить температурные области, в которых преобладают различные механизмы дефазировки [5].

Техника высокого давления позволяет получать более детальную информацию о внутреннем строении и свойствах среды (например, изучать динамику свободного объема в полимерах) [6, 7]. Весьма интересным является исследование полиморфных фазовых переходов в молекулярных кристаллах, вызываемых давлением, где методы селективной спектроскопии дают уникальные возможности для изучения роли резких структурных изменений во внутренней динамике систем, идентичных в других проявлениях. Высокое давление приводит к существенному изменению параметров, характеризующих низкоэнергетические возбужде-

\*E-mail: kamil@isan.troitsk.ru

†E-mail: naumov@isan.troitsk.ru

ния, присущие аморфным средам, и определяющих их структуру и свойства, что может быть использовано для получения информации о микроскопической природе релаксационных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантами Президента РФ № МК-2328.2014.2 и № НШ-134.2014.2.

- 
- [1] *Наумов А.В., Вайнер Ю.Г.* УФН. **179**, №3. С. 322. (2009).  
 [2] *Наумов А.В.* УФН. **183**, №6. С. 633. (2013).  
 [3] *Eremchev I.Y., Naumov A.V., Gorshchev A.A., Vainer Y.G., Kador L., Koehler J.* Mol. Phys. **107**, N 18. P. 1943. (2009).  
 [4] *Karimullin K.R., Naumov A.V.* J. Lumin. **152**. P. 15. (2014).  
 [5] *Vainer Y.G., Naumov A.V., Kol'chenko M., Personov R.I.* Phys. Stat. Sol. B. **241**, N 15. P. 3480. (2004).  
 [6] *Hizhnyakov V., Laisaar A., Kikas J., Kuznetsov A., Palm V., Suisalu A.* Phys. Rev. B. **62**. P. 11296. (2000).  
 [7] *Каримуллин К.Р., Вайнер Ю.Г., Ерёмчев И.Ю., Наумов А.В., Самарцев В.В.* Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. физ.-мат. науки. **152**. Кн. 2. С. 98. (2010).

## Optical Probe Spectroscopy Based on Photon Echo

**K. R. Karimullin<sup>1,2,a</sup>, A. V. Naumov<sup>1,3,b</sup>**

<sup>1</sup>*Department of Molecular Spectroscopy, Institute for Spectroscopy, Moscow, Troitsk 142190, Russia*

<sup>2</sup>*Zavoyski Physical-Technical Institute. Kazan 420029, Russia*

<sup>3</sup>*Moscow Pedagogical State University. Moscow 119991, Russia*

*E-mail: <sup>a</sup>kamil@isan.troitsk.ru, <sup>b</sup>naumov@isan.troitsk.ru*

Review on low-temperature optical dephasing in impurity solid media doped with fluorescent molecules and analysis of the data obtained by different methods of selective laser spectroscopy, including the photon echo and single-molecule spectroscopy are given.

PACS:42.50.Md.

Keywords: photon echo, optical dephasing, impurity molecule.

### Сведения об авторах

1. Каримуллин Камиль Равкатович — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник; тел.: (495) 851-02-36, e-mail: kamil@isan.troitsk.ru.
2. Наумов Андрей Витальевич – докт. физ.-мат. наук, зав. отделом, зам. директора по науке, доцент; тел.: (495) 851-02-36, e-mail: naumov@isan.troitsk.ru.