

УДК 537.312.51, 537.312.52, 537.312.53, 537.312.6

## ОСОБЕННОСТИ ФОТОИНДУЦИРОВАННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ ЛАНТАНА И СТРОНЦИЯ

© 2019 г. Д. К. Жарков<sup>1</sup>, \*, А. В. Леонтьев<sup>1</sup>, Д. П. Павлов<sup>1</sup>, Р. Ф. Мамин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки “Федеральный исследовательский центр  
“Казанский научный центр Российской академии наук”, Казань, Россия

\*E-mail: dzharkov@list.ru

Поступила в редакцию 20.06.2019 г.

После доработки 20.07.2019 г.

Принята к публикации 27.08.2019 г.

В работе обсуждаются результаты воздействия ультракоротких лазерных импульсов с длиной волны 514 нм на электрическое сопротивление гетероструктуры LAO/STO в диапазоне температур 80–290 К. Обнаружено обратимое нарастание сопротивления образца при облучении светом во всем диапазоне изменения температуры.

DOI: 10.1134/S0367676519120342

### ВВЕДЕНИЕ

Двумерный электронный газ, формирующийся на интерфейсе гетероструктур, в основе которых лежит оксид титаната стронция, предоставляет обширную платформу для формирования элементной базы новых электронных устройств [1]. Их уникальные свойства, такие как сверхпроводимость, высокая подвижность носителей заряда и чувствительность к воздействию оптического излучения, представляет большой интерес для научных исследований [2–4]. Наиболее исследованной в настоящее время является гетероструктура  $\text{LaAlO}_3/\text{SrTiO}_3$  (LAO/STO). Более того, для устройств, приходящих на смену кремниевым, микроструктурирование сложных оксидов должно происходить с помощью простых известных методов, применимых к полупроводниковой элементной базе. И если для наноструктурирования применима техника атомно-силовой микроскопии, то микроструктурирование сложных оксидов остается актуальной задачей [5].

Отдельным важным моментом в подобных гетероструктурах является вопрос увеличения количества носителей заряда. Этого можно добиться путем облучения сложных оксидов интенсивным оптическим излучением [6]. При воздействии света происходит поглощение фотонов вблизи раздела двух диэлектриков. В результате за счет поглощенной энергии электроны могут перейти из валентной зоны в зону проводимости и, фактически, стать свободными носителями заряда в области интер-

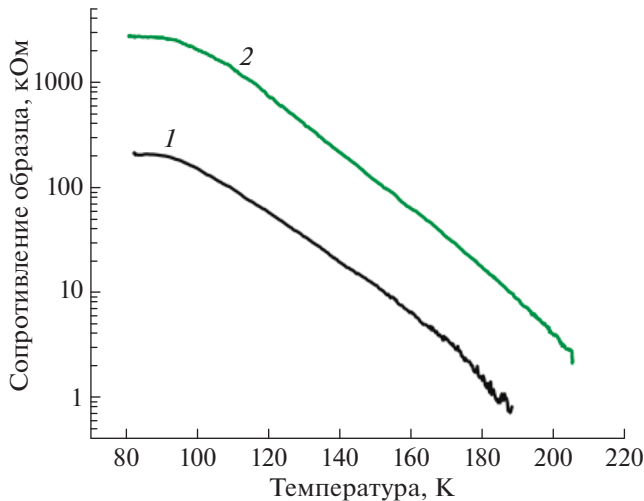
фейса. На основе этого свойства подробнее материалы можно использовать при создании энерго-независимых устройств памяти [7].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для исследования фотоиндуцированной проводимости была собрана установка, в основе которой лежит проточный гелиевый криостат Janis ST-100 с контроллером LakeShore 325, позволяющим перестраивать температуру исследуемых объектов от гелиевых и азотных температур до 300 К, а также фемтосекундный лазерный комплекс с длиной волны лазерного излучения 514 нм, частотой следования импульсов 3 кГц и энергией в импульсе 80 мкДж. В эксперименте исследуемый образец закрепляли на специальной площадке на пальце криостата, к нему с помощью серебряной пасты закрепляли золотые контакты, которые были выведены на внешний разъем. Затем образец помещали в криостат, и откачивали его с помощью вакуумного поста. Излучение фемтосекундного лазера с помощью системы зеркал подавали через окно криостата на исследуемый объект. Проводимость измеряли с помощью стандартного четырех-контактного метода.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

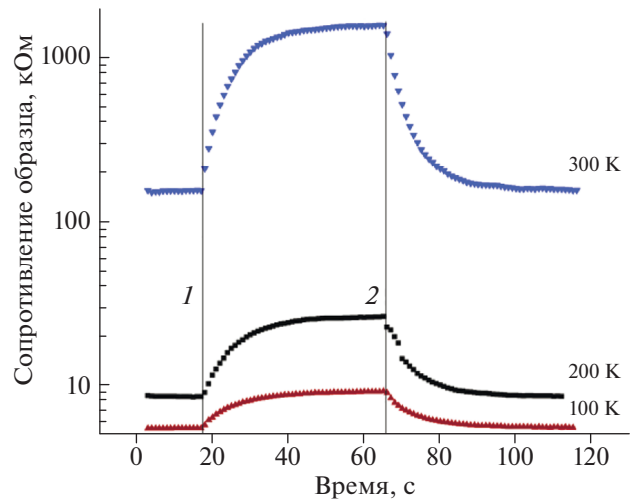
На рис. 1 продемонстрированы результаты измерений температурных зависимостей темнового



**Рис. 1.** Температурные зависимости сопротивления образца LAO/STO в отсутствие (1) и в присутствии (2) облучения ультракороткими лазерными импульсами на длине волны 514 нм.

электросопротивления, а также сопротивления системы LAO/STO при облучении импульсным лазерным излучением на длине волны 514 нм. В обоих режимах сопротивление образца демонстрирует активационное поведение во всем температурном интервале измерений, при этом включение облучения при любом значении температуры из интервала приводит к обратимому росту сопротивления в  $\sim 10$  раз. Очевидно, что подобное изменение нельзя связать с ожидаемым ростом числа фотоиндуцированных носителей заряда в области гетероперехода, либо требуется учитывать дополнительные факторы, влияющие на регистрируемое в эксперименте сопротивление образца [4, 8].

Как показано на рис. 2, изменение сопротивления как при включении, так и при выключении светового воздействия происходит в течение 20–30 с, после этого состояние восстанавливается полностью. Поскольку энергия фотона излучения с длиной волны вблизи 514 нм ( $\sim 2.4$  эВ), недостаточна для возбуждения электронных состояний в слое STO, для понимания процессов, ответствен-



**Рис. 2.** Динамика изменения сопротивления образца LAO/STO после включения (1) и выключения (2) облучения ультракороткими лазерными импульсами на длине волны 514 нм. Рядом с графиками приведена соответствующая температура образца.

ных за наблюдаемое фотоиндуцированное изменение проводимости, требуются дополнительные спектроскопические исследования глубоких состояний в образце, а также влияния нелинейных оптических эффектов, вызванных воздействием ультракоротких лазерных импульсов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-12-00260).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ohtomo A., Hwang H. Y. // Nature. 2004. V. 427. P. 423.
2. Reyren N., Thiel S., Cavaglia A. D. et al. // Science. 2007. V. 317. P. 1196.
3. Chen Y. Z., Trier F., Wijnands T. et al. // Nat. Mater. 2015. V. 14. P. 801.
4. Lei Y., Li Y., Chen Y. Z. et al. // Nat. Commun. 2014. V. 5. P. 5554.
5. Cheng G., Tomczyk M., Tacla A. B. et al. // Phys. Rev. X. 2016. V. 6. Art. № 041042.
6. Pavlov D. P., Garig'yanov N. N., Leontyev A. V. et al. // Abstr. of Int. Conf. SPM-2018. (Ekaterinburg, 2018). P. 180.
7. Lu H. L. et al. // Sci. Rep. 2013. V. 3. P. 2870.
8. Lu H. L. et al. // Nanoscale. 2014. V. 6. № 2. P. 736.