

УДК 535.243,539.8,548.4,669.26

ГЕНЕРАЦИЯ СУПЕРКОНТИНУУМА В МОНОКРИСТАЛЛЕ SrTiO₃, ДОПИРОВАННОМ ИОНАМИ Cr

© 2019 г. А. Г. Шмелев¹, *, Д. К. Жарков¹, А. В. Леонтьев¹, В. Г. Никифоров¹, В. С. Лобков¹

¹Казанский 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: sgartjom@gmail.com

Поступила в редакцию 01.10.2018 г.

После доработки 20.11.2018 г.

Принята к публикации 20.01.2019 г.

Приведены результаты исследования монокристалла SrTiO₃ имплантированного ионами Cr⁺ с энергией 40 кэВ при температуре образца $T_{imp} = 600^\circ\text{C}$. При облучении монокристалла усиленными фемтосекундными лазерными импульсами (несущая $\lambda = 800$ нм, частота следования импульсов 3 кГц, длительность импульса 150 фс, энергия импульса 4 мкДж) были зарегистрированы спектры суперконтинуума. Положение “синей” границы суперконтинуума отличается в разных точках образца.

DOI: 10.1134/S0367676519050442

ВВЕДЕНИЕ

Титанат стронция (SrTiO₃ – STO) уже более 50 лет активно исследуют различными методами [1–3]. Этот полупроводник является модельным представителем окислов ABO₃ со структурой перовскита и родственных материалов в фундаментальной и прикладной физике. При комнатной температуре он имеет простую кубическую структуру перовскита. При охлаждении STO ведет себя как будто приближается к фазовому переходу в сегнетоэлектрическое состояние, однако вплоть до 30 мК фазовый переход так и не происходит. Эту особенность связывают с преобладанием квантовых явлений при низких температурах, поэтому титанат стронция относят еще и к так называемым виртуальным сегнетоэлектрикам. Существенные изменения свойств любого материала с температурой находит такое прикладное применение как термометры [4], поэтому исследователи заинтересованы в проведении экспериментов с STO в различных температурных режимах. Титанат стронция крайне восприимчив к внешним воздействиям (давлению, электрическому полю), а также присутствию и распределению дефектов и примесей, которые сильно изменяют его свойства. Благодаря такой восприимчивости STO находит массу прикладных применений, от энерго-независимой памяти [5] до фотокатализа [6].

В настоящей работе мы используем мощное фемтосекундное излучение для возбуждения в STO различных нелинейных процессов, которые приводят к генерации суперконтинуума. Так как взаимодействие мощного фемтосекундного излучения с веществом сложный процесс [7], мы ограничились лишь качественными выводами о структуре полученных образцов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

В качестве образца использовали монокристалл STO (100), выращенный в Московском энергетическом институте, допированный на установке ИЛУ-3 Казанского физико-технического института ионами Cr⁺ с энергией 40 кэВ при температуре образца $T_{imp} = 600^\circ\text{C}$, токе $j = 8$ мкА · см⁻², плотности потока ионов $D = 5.0 \times 10^{16}$ ионов · см⁻². Ни до, ни после имплантации в данном образце нам не удалось зафиксировать характерной люминесценции в области 600–800 нм при возбуждении второй гармоникой фемтосекундного Ti:сапфирового лазера (несущая 400 нм). Однако при облучении усиленными фемтосекундными импульсами (несущая длина волны – 800 нм, энергия в импульсе – 4 мкДж, частота следования импульсов – 3 кГц, длительность – 150 фс, радиус фокусировки лазера – 50 мкм) было зарегистрировано явление генерации суперконтинуума. Схема эксперимента представлена на рис. 1. Излучение фокусировалось на образце линзой с фокусным расстоянием 10 см при нормальном падении. Излучение собиралось кварцевой линзой с фокусным расстоянием 5 см на входную щель монохроматора МДР-12 и далее попадало в ФЭУ-79. Так как коэффициент преломления STO велик (2.4), то необходимо было применять собирающую линзу с большой апертурой (5 см). Кроме того, чтобы повысить отношение сигнал/шум, перед входной щелью монохроматора было установлено диэлектрическое зеркало, которое отражало как минимум 99% излучения накачки в сторону от входной щели.

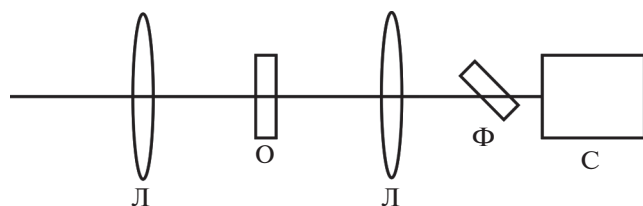


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: Л – линзы, О – образец, Ф – светофильтр, диэлектрическое широкополосное зеркало, С – монохроматор с ФЭУ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные данные, представленные на рис. 2, демонстрируют спектры излучения суперконтинуума, полученные при облучении фемтосекундными импульсами двух разных точек образца.

В спектральной области >700 нм зеркало отражает 99% падающего излучения, но прошедшее излучение накачки всё равно хорошо детектируется ФЭУ. Самое главное отличие двух спектров – это положение “синей” границы спектра излучения суперконтинуума: для двух точек кристалла STO положение “синей” границы отличается более чем на 20 нм.

Известно [1], что в спектре люминесценции STO, допированного Cr^{3+} , наблюдается бесфоновая линия на длине волны 780 нм. Однако в наших экспериментах мы не зафиксировали заметной люминесценции. Мы полагаем, что отсутствие заметной люминесценции свидетельствует в пользу того, что ионы Cr находились в однократно заряженном состоянии, тогда как бесфоновая линия люминесценции в районе 780 нм характерна для иона Cr^{3+} . Однако имплантация, пусть и при относительно высокой температуре, привела к образованию локальных дефектов, неоднородно распределённых по образцу, что проявляется в изменении положения “синей” границы спектра суперконтинуума в разных точках образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При облучении монокристалла SrTiO_3 , имплантированного ионами Cr^+ с энергией 40 кэВ при температуре образца $T_{\text{imp}} = 600^\circ\text{C}$ усиленными фемтосекундными лазерными импульсами, были зарегистрированы спектры суперконтинуума. Положение “синей” границы суперконтинуума отличается в разных точках образца, что свидетельствует о присутствии значительного количества дефектов. То, что ионы Cr находятся в однократно заряженном состоянии свидетельствует о присутствии регистрируемой бесфоновой линии в спектре люминесценции.

Работа поддержана грантами РФФИ № 18-52-00026 Бел_а, 17-02-00701а.

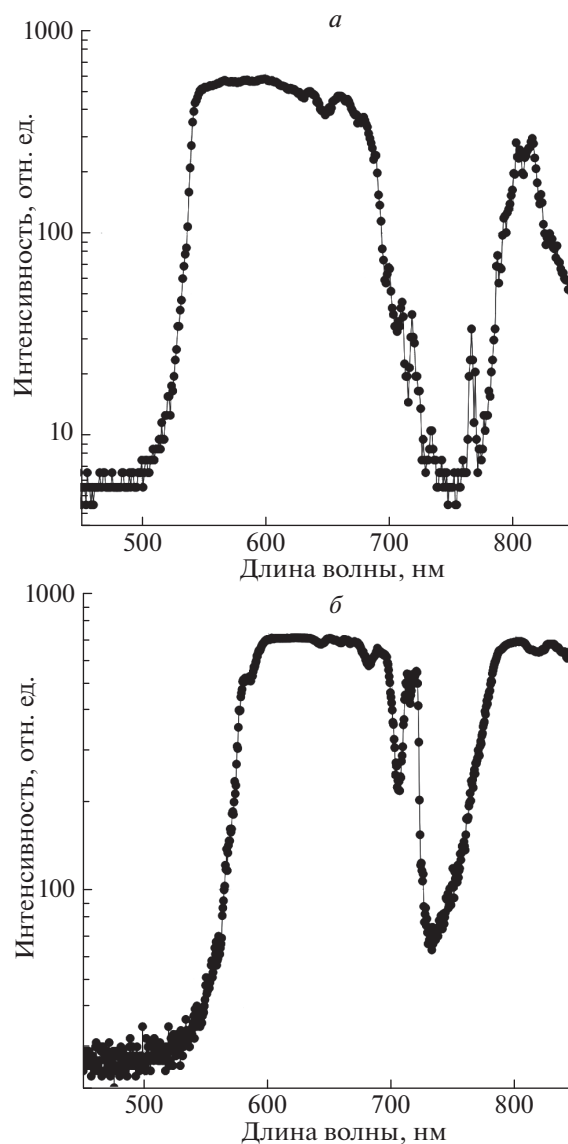


Рис. 2. Спектры суперконтинуума полученные при облучении двух разных точек на образце монокристалла SrTiO_3 , допированного ионами Cr^+ .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grabner L. // Phys. Rev. 1969. V. 177. P. 1315.
2. Hemberger J., Lunkenheimer P., Viana R. et al. // Phys. Rev. B. 1995. V. 52. № 18. P. 13159.
3. Basun S.A., Bianchib U., Bursiar V.E. et al. // J. Lumin. 1996. V. 66–67. P. 526.
4. Lapaev D.V., Nikiforov V.G., Lobkov V.S. et al. // Opt. Mat. 2018. V. 75. P. 787.
5. Janousch M., Meijer G.I., Staub U. et al. // Adv. Mater. 2007. V. 19. P. 2232.
6. Liu J.W., Chena G., Liac Z.H. et al. // J. Sol. St. Chem. 2006. V. 179. № 12. P. 3704.
7. Leontyev A.V., Zharkov D.K., Shmelev A.G. et al. // EPJ Web Conf. 2015. V. 103. Art. no. 07002.