

Исследование твёрдых оксидов методом Импульсной Католюминесценции

Ю.Д. Заварцев¹, М.В. Завертяев², А.И. Загуменный¹, В.А. Козлов², С.А. Кутовой¹,

Н.В. Пестовский^{2,3}, А.А. Петров^{2,3} и С.Ю. Савинов^{2,3}

¹Институт Общей Физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, г. Москва, ул. Вавилова, 58

²Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991, г. Москва, Ленинский пр., 53

³Московский Физико-Технический Институт (Государственный университет), г. Долгопрудный, Инстиутский пер., 9.

Метод импульсной католюминесценции (ИКЛ) анализа конденсированных веществ [1] основан на анализе люминесценции, возникающей после облучения образца импульсом электронов длительностью ~ 1 нс, средней энергией частиц ~ 150 кэВ и пиковой плотностью мощности ~ 10 МВт/см². В данной работе в одинаковых условиях при комнатной температуре исследованы ИКЛ-спектры особо чистых (ОСЧ) оксидных порошков SiO₂, GeO₂, SnO₂, TiO₂, La₂O₃, Y₂O₃, Sc₂O₃, CaCO₃ и кристаллов α -кварца, PbWO₄, Ca:YVO₄, LiNbO₃ и Sc:LiNbO₃. Обнаружено, что образцы SiO₂, GeO₂, TiO₂, La₂O₃ и CaCO₃ имеют в ИКЛ-спектре общую полосу с максимумом интенсивности в районе 500 нм, образцы Y₂O₃, Sc₂O₃, SnO₂, PbWO₄ и Ca:YVO₄ – в районе 490 нм и LiNbO₃ и Sc:LiNbO₃ – в районе 510 нм. Установлена связь общей интенсивности ИКЛ-спектра и положения максимума указанной полосы с характером межзонного перехода на краю фундаментального поглощения. Предполагается, что данная полоса имеет одинаковую природу у всех исследованных материалов и связана с люминесценцией кислородных комплексов O²⁻-O⁻, возникающих при ионизации иона кислорода, находящегося в точке нарушения упорядоченного расположения координационных многогранников, которые располагаются вблизи кристаллических дефектов - анионных и катионных вакансий. Полученный результат позволяет установить общие закономерности, характерные для спектров люминесценции оксидов с малым содержанием оптически-активных примесей и осуществлять экспресс-диагностику оксидных соединений методом ИКЛ, оценивая концентрацию дефектов и посторонних примесей.

Вещества в форме порошка с маркой ОСЧ, в частности, порошки порошков SiO₂, GeO₂, SnO₂, TiO₂, La₂O₃, Y₂O₃, Sc₂O₃, CaCO₃, используются в качестве стартовых продуктов для роста кристаллов, в частности, кристаллов-сцинтилляторов. Методы роста кристаллов могут быть различными, одним из них является метод Чохральского. Кристаллы, выращенные указанным способом, применяются, в частности, как составная часть сцинтилляционных детекторов.

Ранее было показано [2-4], что спектры и времена затухания ИКЛ набора сцинтилляционных кристаллов тождественны в пределах ошибки измерений спектрам и временам затухания люминесценции, возбуждаемой в тех же кристаллах под действием гамма-излучения. Данный факт позволяет использовать метод ИКЛ для исследования люминесценции сцинтилляционных кристаллов, используемых для исследования гамма-

излучения. Основываясь на данных результатах, методом ИКЛ было исследовано изменение ИКЛ-спектра кристаллов-сцинтилляторов $\text{Lu}_{3.01-x}\text{Y}_x\text{Al}_{4.99}\text{O}_{12}$ (LuYAG), допированных ионами Cr^{3+} , Ce^{3+} и Sc^{3+} , и $\text{Lu}_{2+2y}\text{Si}_{1-y}\text{O}_{5+y}$ (LFS) [5-7], допированных ионами Ce^{3+} , Sc^{3+} , Ca^{2+} и Y^{3+} в различных концентрациях до и после их облучения гамма-излучением радиоактивного источника ^{60}Co при поглощенной дозе, равной 45 Мрад. Также было исследовано изменение спектра оптического пропускания (ОП) кристаллов до и после облучения.

При исследовании кристаллов LuYAG установлено, что относительная интенсивность ИКЛ полос Cr^{3+} увеличилась после облучения по отношению к интенсивности полос Ce^{3+} в 1.6-8 раз, а ОП-спектры всех образцов после облучения потеряли индивидуальные особенности и стали идентичны. Дано качественное объяснение полученным результатам. В соответствии с ним наведенное поглощение определяется, в первую очередь, возникающими после облучения оптически-активными дефектами по Френкелю, включающими кислородную вакансию и междоузельный ион кислорода. Обнаружена зависимость радиационной стойкости кристаллов LFS от концентрации ионов Се. Для кристалла состава $\text{Ce}:\text{Sc}:\text{Ca}:\text{Y}:\text{LFS}$ установлено, что его спектры оптического пропускания (ОП) и импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) спектры до облучения в пределах ошибки измерений не отличаются от спектров измеренных после облучения. Дано качественное объяснение полученных результатов. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект №14-22-00273)

[1] Соломонов В.И., Михайлов С.Г., “Импульсная катодолюминесценция и ее применение для анализа конденсированных веществ”. Екатеринбург: Типография УРО РАН, 2003. 182 с

[2] М.В. Завертяев, А.И. Загуменный, В.А. Козлов, В.Н. Очкин, Н.В. Пестовский, А.А. Петров и С.Ю. Савинов, Письма в ЖТФ, том 40, вып. 10 с 73-79 (2014).

[3] А.И. Загуменный, А.Н. Лобанов, А.В. Михайлов, В.Н. Очкин, Н.В. Пестовский, А.А. Петров и С.Ю. Савинов, Краткие сообщения по физике ФИАН, Том 42, Номер 1, сс. 15-20 (2015).

[4] V.A. Kozlov, V.N. Ochkin, N.V. Pestovskii, A.A. Petrov, S.Yu. Savinov, A.I. Zagumennyi and M.V. Zavertyaev, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 653, Art. Number 012017, pp. 1-4 (2015).

[5] A. I. Zagumennyi, Yu. D. Zavartsev, S. A. Kutovoi, Patent US 7,132,060, November 7, 2006. PCT Filed: Mar.12, 2004.

[6] Ю.Д. Заварцев, М.В. Завертяев, А.И. Загуменный, А.Ф. Зерроук, В.А. Козлов, С.А. Кутовой, Краткие сообщения по физике ФИАН, Том 40, Номер. 2, сс. 13-20 (2013).

[7] Н.В. Агеева, А.И. Загуменный, Ю.Д. Заварцев, С.Р. Иванова, Т.П. Кулеченкова, С.А. Кутовой, Г.П. Левина, В.А. Макушина, Т.А. Скабалланович, Краткие сообщения по физике ФИАН, Том 42, номер 12, сс. 22-27 (2015).