

КОНТРОЛЬ ВЫСОКИХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ОКСИДНЫХ КЕРАМИК

© 2025 г. Сергей Владимирович Никифоров^{1*}, Д.В. Ананченко^{1**}, Т.В. Штанг^{1***}
¹ – Уральский федеральный университет, 620002 Екатеринбург, улица Мира, д. 19
* - s.v.nikiforov@urfu.ru; ** - d.v.ananchenko@urfu.ru; *** - t.v.shtang@urfu.ru

Высокие дозы ионизирующих излучений (более 10 Гр) в настоящее время широко используются в радиационных технологиях и научных исследованиях для стерилизации пищевых продуктов и медицинских инструментов, очистки сточных вод, в брахитерапии, при модификации свойств композитных материалов, металлов и сплавов, а также для спектроскопии собственных и примесных дефектов в полупроводниковых и диэлектрических материалах. Для контроля параметров таких излучений перспективными являются люминесцентные детекторы на основе наноструктурных материалов из-за их повышенной радиационной стойкости [1]. Большинство коммерческих люминесцентных детекторов характеризуются верхним пределом диапазона регистрируемых доз до 1-100 Гр. Поэтому поиск и исследование новых люминесцирующих материалов, пригодных для дозиметрии высокоинтенсивных радиационных полей, обеспечивающих поглощенные дозы 1 кГр и более, представляет собой актуальную задачу [2-4].

Целью данной работы является синтез и исследование люминесцентных и дозиметрических свойств облученных высокими дозами ультрадисперсных керамик на основе широкозонных оксидных диэлектриков.

Исследованы термолюминесцентные (ТЛ) и дозиметрические свойства ультрадисперсных керамик на основе оксидов алюминия и циркония, облученных высокодозным импульсным электронным пучком (130 кэВ, 1,5 кГр на один импульс). Для синтеза керамик с различным размером кристаллитов использовалось спекание компактов, изготовленных из нанопорошков, на воздухе в электрической печи при $T=700-1700$ °С, а также их облучение высокоэнергетическими электронами (1,4 МэВ) с высокой плотностью мощности (20-30 кВт/см²) [5]. Методами сканирующей электронной микроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа установлено, что высокотемпературный отжиг не влияет на фазовый состав, однако приводит к существенному росту размеров кристаллитов. В керамиках, синтезированных электронно-лучевым методом, размер наночастиц практически не отличается от размера кристаллитов в исходном нанопорошке. Установлено, что отжиг керамик при $T>1000$ °С приводит к существенному увеличению интенсивности ТЛ пиков. Максимальным ТЛ откликом обладают керамики, полученные электронно-лучевым методом, что связано с образованием радиационно-индуцированных центров

захвата и свечения при синтезе. С помощью измерения импульсной катодолуминесценции установлен спектральный диапазон свечения исследуемых образцов. В работе также определены значения кинетических параметров ловушек, ответственных за ТЛ пики. Анализ дозовых зависимостей ТЛ облученных керамик $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и ZrO_2 выявил их преимущественно сублинейный характер. Для керамик на основе оксида алюминия, в отличие от монокристаллической модификации, установлено наличие аномального ТЛ фединга, связанного с наличием локализованных переходов носителей заряда, характерных для наноструктурных материалов. При этом величина фединга увеличивается с ростом размера кристаллитов. Наличие интенсивного изолированного пика ТЛ и сублинейный характер большинства дозовых зависимостей доказывают перспективность синтезированных в настоящей работе оксидных керамик для измерения высоких доз импульсных электронных пучков (единицы-десятки кГр). При этом для керамик на основе оксида алюминия требуется коррекция ТЛ отклика на величину фединга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kortov V.S.* Nanophosphors and outlooks for their use in ionizing radiation detection // *Radiation Measurements*. 2010. V. 45. P. 512-515.
2. *Yukihara E.G., Bos A.J.J., Bilski P., McKeever S.W.S.* The quest for new thermoluminescence and optically stimulated luminescence materials: Needs, strategies and pitfalls // *Radiation Measurements*. 2022. V. 158. P. 106846.
3. *Bilski P.P., Obryk B., Gieszczyk W., Baran P.* Position of LiF: Mg, Cu, P TL peak as an alternative method for ultra-high-dose dosimetry // *Radiation Measurements*. 2020. V. 139. P. 106486.
4. *Tang H., Lin L., Zhang C., Tang Q.* High-sensitivity and wide-linear-range thermoluminescence dosimeter LiMgPO₄: Tm, Tb, B for detecting high-dose radiation // *Inorganic Chemistry*. 2019. V. 58. No. 15. P. 9698-9705.
5. *Lisitsyn V., Mussakhanov D., Tulegenova A., Kaneva E., Lisitsyna L., Golkovski M., Zhunusbekov A.* The Optimization of Radiation Synthesis Modes for YAG:Ce Ceramics // *Materials*. 2023. V. 16. P. 3158.