

06;12

Влияние скорости нагрева на термолюминесценцию анион-дефектного оксида алюминия после высокодозного облучения

© С.В. Никифоров, В.С. Кортон, Б.А. Маккамбаев, Т.А. Аминов

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург
E-mail: s.v.nikiforov@urfu.ru

Поступило в Редакцию 13 апреля 2015 г.

Изучены зависимости светосуммы пиков термолюминесценции (ТЛ) при 180 и 300°С от скорости нагрева монокристаллов анион-дефектного оксида алюминия после высокодозного облучения. Обнаружено, что данные зависимости в пике при 180°С идентичны у всех исследуемых образцов и совпадают с известной зависимостью после облучения низкими дозами. Для пика ТЛ при 300°С обнаружено существенное отличие кривых от образца к образцу. Методом Монте-Карло произведен расчет параметров температурного тушения ТЛ в обоих пиках. Выработаны практические рекомендации по использованию результатов для высокодозной дозиметрии.

В настоящее время высокодозное ионизирующее излучение (1–100 kGy) находит широкое применение в исследованиях по радиационной физике и материаловедению, при стерилизации медицинского оборудования, в радиационных технологиях модификации свойств материалов. В связи с этим актуальной задачей является создание радиационно-чувствительных сред для измерения таких радиационных полей. Для оценки поглощенной дозы получил распространение метод

термолюминесцентной (ТЛ) дозиметрии. К материалам, потенциально пригодным для регистрации высоких доз, относится анион-дефектный оксид алюминия (коммерческий детектор ТЛД-500К), обладающий высокой радиационной стойкостью. В работах [1,2] продемонстрировано успешное применение высокотемпературных пиков ТЛ данного материала при 300, 430 и 550°C для дозиметрии импульсного рентгеновского и электронного излучения. К недостаткам данных детекторов относится температурное тушение люминесценции, которое, в частности, приводит к уменьшению высвеченной светосуммы с ростом скорости нагрева.

Зависимость светосуммы основного пика ТЛ при 180°C от скорости нагрева изучалась ранее для кристаллов, облученных только низкими дозами на линейном участке дозовых характеристик [3]. Для первого высокотемпературного пика ТЛ при 300°C ранее было обнаружено падение светосуммы с ростом скорости нагрева при облучении дозой 0.5 Gy гамма-излучения ^{60}Co [4]. После высокодозного облучения (более 10 Gy) данная зависимость не исследовалась. В этой связи необходимо дополнительное, более детальное изучение изменений ТЛ высокотемпературных пиков при различных скоростях нагрева для повышения точности высокодозных измерений.

Целью данной работы являлось изучение зависимости светосуммы ТЛ в основном (180°C) и первом высокотемпературном пике (300°C) от скорости нагрева после высокодозного облучения образцов и расчет параметров температурного тушения люминесценции.

Исследовались образцы коммерческих детекторов ТЛД-500К (Россия). Они были изготовлены на основе анион-дефектных монокристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, выращенных методом Степанова в сильных восстановительных условиях. Образцы имели форму таблеток толщиной 1 mm, диаметром 5 mm. ТЛ возбуждалась импульсным электронным пучком ускорителя с длительностью импульса 2 ns, средней энергией электронов 130 keV, плотностью тока 60 A/cm². Поглощенная доза в месте расположения образца, определенная с помощью фотопленочного дозиметра SO PD(F)R-5/50, составила 1.5 kGy на один импульс. В работе использовался также источник бета-излучения на основе изотопа $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ мощностью дозы 8 mGy/min. ТЛ измерялась по стандартной методике с помощью ФЭУ-130 с максимумом спектральной чувствительности при 400–420 nm, совпадающим с полосой свечения облученного детектора. Для исследований были взяты образцы, имеющие приблизительно одинаковую полуширину основного пика при 180°C, поскольку ее

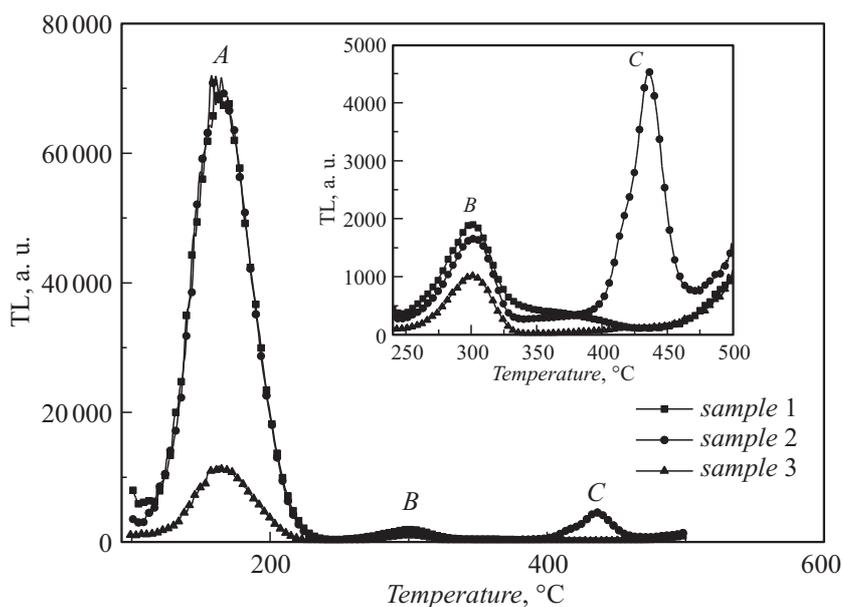


Рис. 1. Типичные кривые ТЛ для трех образцов анион-дефектного $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, облученных импульсным электронным пучком дозой 30 kGy. На врезке — эти же кривые, изображенные более детально в диапазоне $T = 250\text{--}500^\circ\text{C}$.

величина может влиять на ТЛ свойства изучаемых кристаллов. Использовались образцы с узким пиком (полуширина 37–40 К при скорости нагрева 2 К/с) [5].

Типичные кривые ТЛ для трех исследуемых образцов после возбуждения импульсным электронным пучком приведены на рис. 1. Установлено, что на кривых ТЛ всех исследуемых образцов наблюдался основной дозиметрический пик *A* при 180°C и первый высокотемпературный пик *B* при 300°C . В ряде образцов (в частности, № 2 на рис. 1) регистрировался также пик *C* при 430°C от глубокой ловушки. Интенсивности пиков *A* и *B* существенно различались в исследуемой партии образцов, однако их температурное положение было практически идентичным.

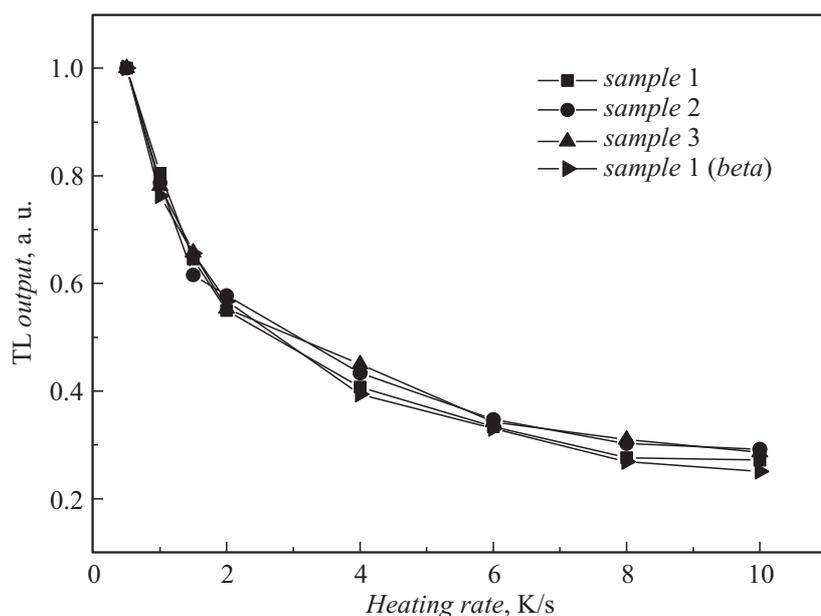


Рис. 2. Зависимости светосуммы дозиметрического пика ТЛ при 180°C от скорости нагрева исследуемых образцов, облученных импульсным электронным пучком (30 kGy), и образца 1, облученного бета-источником (8 mGy).

На рис. 2 приведены зависимости светосуммы пика при 180°C от скорости нагрева для трех исследуемых образцов. Видно, что данные зависимости у разных образцов совпадают и идентичны известной зависимости выхода ТЛ данного пика от скорости нагрева при облучении низкой дозой бета-излучения [3].

Иная картина наблюдается при изучении влияния скорости нагрева на выход ТЛ в пике при 300°C (рис. 3). Видно, что исследуемые зависимости в пике *B* существенно варьируются от образца к образцу, несмотря на идентичность температурного положения этого пика.

Полученные зависимости были использованы для расчета параметров температурного тушения люминесценции (энергии активации W и константы C) методом Монте-Карло [6]. Вначале генерировались

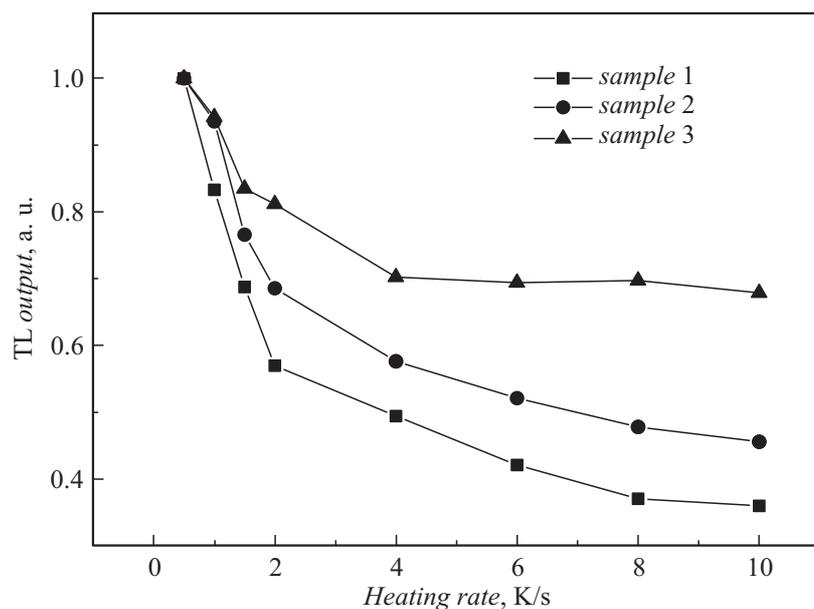


Рис. 3. Зависимости светосуммы пика ТЛ при 300°C от скорости нагрева образцов, облученных импульсным электронным пучком (30 kGy).

случайным образом в выбранном диапазоне пары значений W и C . Затем рассчитывались кривые ТЛ без учета тушения (I_{TL}) по формуле

$$I_{TL}(\beta_i, T) = I(\beta_i, T) / \eta(C, W, T), \quad (1)$$

где I — экспериментально снятая кривая ТЛ, β_i — i -я скорость нагрева, η — функция тушения Мотта–Зейтца.

Далее определялись светосуммы кривых ТЛ без учета тушения (I_{TL}) при разных скоростях нагрева. Окончательные параметры W и C соответствовали случаю, когда полученные светосуммы оказывались практически идентичными при минимуме среднеквадратического отклонения S их величины при вариации скорости нагрева. Результаты расчета параметров тушения приведены в таблице.

Данные таблицы показывают, что параметры тушения ТЛ дозиметрического пика A практически идентичны для всех исследуемых образцов.

Параметры тушения люминесценции в анион-дефектных монокристаллах оксида алюминия

Пик	Образец 1			Образец 2			Образец 3			Образец 1 (бета-облучение)		
	W, eV	C	S, %	W, eV	C	S, %	W, eV	C	S, %	W, eV	C	S, %
A	1.01	$3.1 \cdot 10^{11}$	4.8	1.03	$2.8 \cdot 10^{11}$	4.5	1.02	$4.8 \cdot 10^{11}$	5.2	1.00	$2.9 \cdot 10^{11}$	3.0
B	0.57	$1.7 \cdot 10^9$	6.1	0.44	$1.3 \cdot 10^{10}$	3.8	0.90	$2.3 \cdot 10^7$	4.7	—	—	—

При этом их значения достаточно хорошо согласуются с литературными данными ($W = 1.08$ eV, $C = 10^{12}$) [7], где они определялись путем аппроксимации зависимости выхода люминесценции от температуры по формуле Мотта—Зейтца. Вместе с тем из таблицы также следует, что параметры тушения ТЛ пика B существенно отличаются от параметров тушения ТЛ пика A, а также варьируются от образца к образцу в соответствии с рис. 3.

Можно предположить, как это было сделано ранее для пика A [3], что падение выхода ТЛ с ростом скорости нагрева в пике при 300°C связано с конкурирующим захватом носителей на более глубокие ловушки. При этом различия в ходе этих зависимостей от образца к образцу могут быть обусловлены различной степенью заселенности конкурирующих глубоких центров захвата. Такими центрами, в частности, могут являться ловушки, ответственные за ТЛ пик C при 430°C . Так, из рис. 1 видно, что интенсивность пика C сильно отличается у разных образцов. Она максимальна у образца 2, а у образца 1 данный пик не наблюдается. Совпадение зависимостей выхода ТЛ образцов от скорости нагрева для дозиметрического пика A можно объяснить тем, что данный эффект здесь обусловлен конкурирующим взаимодействием основных ловушек с глубокими центрами, которые не заполняются при возбуждении электронным пучком или заполняются незначительно. В частности, такими ловушками могут быть центры, ответственные за пик при 470°C после облучения образца УФ-светом [3]. Этот пик не наблюдается при облучении исследуемых образцов электронным пучком (рис. 1).

Таким образом, полученные зависимости выхода ТЛ в пике при 300°C от скорости нагрева монокристаллов анион-дефектного оксида

алюминия, облученного высокими дозами импульсного электронного пучка, показали существенное различие от образца к образцу вследствие отличия параметров температурного тушения. При использовании для высокодозной дозиметрии ТЛ пика при 300°С необходима дополнительная индивидуальная калибровка детекторов по выходу ТЛ при отличии скорости нагрева от номинальной, определяемой техническими условиями.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 3.1016.2014/к).

Список литературы

- [1] *Никифоров С.В., Кортюв В.С., Звонарев С.В., Моисейкин Е.В.* // ЖТФ. 2014. Т. 84. В. 2. С. 92–97.
- [2] *Сюрдо А.И., Мильман И.И., Абашев Р.М., Власов М.И.* // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. В. 23. С. 22–30.
- [3] *Мильман И.И., Кортюв В.С., Никифоров С.В.* // ФТТ. 1998. Т. 40. В. 2. С. 229–234.
- [4] *Pradhan A.S.* // Radiat. Prot. Dosim. 1996. V. 65. N 1–4. P. 73–78.
- [5] *Akselrod A.E., Akselrod M.S.* // Radiat. Prot. Dosim. 2002. V. 100. N 1–4. P. 217–220.
- [6] *Mandowski A., Bos A.J.J., Mandowska E., Orzechowski J.* // Radiat. Meas. 2010. V. 45. P. 284–287.
- [7] *Akselrod M.S., Agersnap Larsen N., Whitley V., McKeever S.W.S.* // J. Appl. Phys. 1998. V. 84. N 6. P. 3364–3373.