

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДЕТЕКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ α - $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ ДЛЯ НЕЙТРОННОЙ ДОЗИМЕТРИИ

© 2024 г. Александр Игоревич Бояринцев^{1*}, Р. М. Абашев¹, А. Д. Петракович²,
И. И. Мильман¹, А. И. Сюрдо¹

¹ – *Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, 620108
ул. Софьи Ковалевской, д. 18*

² – *ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ФТИ, 620002
Екатеринбург, ул. Мира, д. 21*

* - *boyarincev.alex@gmail.com*

Специалистами Института физики металлов УрО РАН и АО «Уральский электромеханический завод» разработан новый наукоемкий продукт – автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля КОРОС-333 с комплектом дозиметров для измерения индивидуальных эквивалентов доз (ИЭД) облучения всего тела Нр(10), хрусталика глаза Нр(3) и кожных покровов Нр(0.07) в полях бета- и фотонных ионизирующих излучений [1]. Впервые в России в ней для считывания дозиметрической информации использован эффект оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) в анионодефицитном корунде (α - $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$). Система успешно прошла государственные испытания, на которых было подтверждено ее превосходство по совокупности метрологических и технико-эксплуатационных параметров над зарубежными термолюминесцентными и ОСЛ-аналогами. Она внесена в госреестр средств измерений (№ 87141-22). Однако в системе пока отсутствуют дозиметры для измерения ИЭД в смешанных гамма-нейтронных полях. Поэтому одной из первых задач при создании нейтронного ОСЛ-дозиметра был выбор материала нейтронного конвертора, который бы наиболее эффективно преобразовывал энергию нейтронов в энергию возбуждения детекторного материала на основе α - $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$.

В работе исследовались ОСЛ-выходы у образцов α - $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ в порошкообразном и монокристаллическом виде с различными нейтронными конверторами и их расположением. Сравнивались 4 варианта конвертирования. В двух из них были применены конверторы на базе ${}^6\text{LiF}$ или ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$, в которых изотоп ${}^6\text{Li}$ при захвате нейтрона распадается на ${}^3\text{H}$ и α -частицу соответственно с энергиями 2,75 и 2,05 МэВ и пробегами в α - Al_2O_3 30 и 4 мкм. Из-за малых пробегов ${}^3\text{H}$ и α -частицы исследуемые образцы изготавливались из гомогенных смесей порошков α - $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ и ${}^6\text{LiF}$ или порошков α - $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ и ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$ в пропорции 1:1 с последующим компактированием в таблетки размером $\varnothing 5 \times 0,3$ мм и их спеканием при 850-950 К. Размер частиц порошков не превышал 20-100 мкм. Отличительной особенностью состава из α - $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ и ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$ являлась плохая спекаемость и, как следствие, низкие прозрачность и прочность. В третьем и четвертом

вариантах нейтроны конвертировались в гамма-излучение, которое регистрировалось стандартным монокристаллическим ОСЛ-детектором на основе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ размером $\varnothing 5 \times 1$ мм. В качестве конверторов использовались металлический Cd с толщиной 0,2 мм и компактированный порошок Gd_2O_3 толщиной 0,9 мм.

Исследуемые детекторные составы одновременно со стандартным дозиметром, измеряющим $\text{Hr}(10)$ только гамма-компонента, облучались на специальном фантоме в поле Pu-Be-источника. Мощности ИЭД для нейтронного и гамма-компонента были соответственно 1,87 мЗв/ч и 0,03 мЗв/ч. Суммарный ИЭД в каждом исследуемом случае составлял 45 мЗв. ОСЛ-выходы измерялись с использованием системы КОРОС-333. Эффективность разделения нейтронного и гамма-компонента R_N/R_γ определялась как отношение ОСЛ-выходов исследуемых составов при нейтронном (S_{OSL_N}) и гамма- (S_{OSL_γ}) облучении, нормированных на соответствующие ИЭД (D_N и D_γ):

$$R_N/R_\gamma = [S_{\text{OSL}_N}/D_N]/[S_{\text{OSL}_\gamma}/D_\gamma]. \quad (1)$$

Полученные результаты суммированы в табл. 1. Как видно, наибольший ОСЛ-выход и соотношение R_N/R_γ имеет детекторный состав из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ и ${}^6\text{LiF}$. Состав из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\delta$ и ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$ обладает близким к первому составу соотношением R_N/R_γ , но крайне низким ОСЛ-выходом из-за его низкой прозрачности, что препятствует прохождению через него стимулирующего излучения и полезного ОСЛ-сигнала. У вариантов конвертирования с помощью Gd_2O_3 и Cd получено очень малое соотношение R_N/R_γ , и поэтому они не могут эффективно разделять вклады в ИЭД нейтронного и гамма-облучения. Основной причиной является крайне низкая ионизационная эффективность конверсионного гамма-излучения в сравнении с ${}^3\text{H}$ и α -частицей.

Таблица 1

Характеристики исследуемых детекторных составов

Детекторный состав	S_{OSL_N} , о.е.	R_N/R_γ
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\delta / {}^6\text{LiF}$	76368	0,96
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\delta / {}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$	8640	0,86
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\delta / \text{Gd}_2\text{O}_3$	12192	0,005
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\delta / \text{Cd}$	52896	0,014

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», № 122021000030-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сюрдо А.И., Абашев Р.М., Красноперов В.С., Мильман И.И., Моисейкин Е.В., Бояринцев А.И. Автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля КОРОС-333 // Дефектоскопия. 2023. № 6. С. 73 — 74.