

05.2; 12

© 1991

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ $YAlO_3:Pr$

В.Г. Барышевский, Р.Ф. Зувевский,
М.В. Коржик, А.С. Лобко,
В.И. Мороз, С.А. Смирнова,
В.Б. Павленко, А.А. Федоров

Быстродействие неорганических сцинтилляторов является одним из параметров, определяющих возможность их применения в перспективных экспериментах в области физики элементарных частиц на строящихся коллайдерах УНК, LHC, SSC. В этом плане как наиболее вероятные кандидаты рассматриваются кристаллы BaF_2 , а также $YAlO_3$, Gd_2SiO_5 , LaF_3 , активированные церием [1]. В указанных матрицах сцинтилляционный эффект обусловлен межконфигурационной $d \rightarrow f$ люминесценцией (МКЛ) ионов Ce^{3+} . Помимо Ce^{3+} ионы Nd^{3+} , Yb^{3+} , Pr^{3+} также обладают межконфигурационной быстрораспадающейся люминесценцией. Из работ по исследованию характеристик $d \rightarrow f$ люминесценции ионов Pr^{3+} [2, 3] следует, что МКЛ именно этих ионов характеризуется наименьшими временами затухания. Например, при фотовозбуждении в кристаллах $YAlO_3$ время затухания МКЛ ионов Ce^{3+} $\tau = 17$ нс, в то время как для Pr^{3+} не превышает 10 нс. Эти факты указывают на возможность создания сцинтилляторов на основе Pr -активированных монокристаллов, сравнимых по быстродействию с пластиками, но при этом обладающих значительно большей тормозной способностью к ионизирующему излучению.

В настоящей работе впервые продемонстрировано, что монокристаллы $YAlO_3$, активированные празеодимом, являются эффективными быстродействующими сцинтилляторами.

Квантовый выход и, собственно, существование МКЛ ионов Pr^{3+} чрезвычайно чувствительны к типу матриц, которые легируются празеодимом. Это обусловлено наличием у ионов Pr^{3+} высокоэнергетичного f -терма 1S_0 с $\tilde{\nu} = 45000 \text{ см}^{-1}$, оказывающего радикальное тушащее воздействие на излучательный межконфигурационный переход $4f^1({}^2F_{5/2})5d^1({}^2T_2) \rightarrow 4f^2({}^3H, {}^3F)$ при их спектральном резонансе. С другой стороны, конечным состоянием межконфигурационных излучательных переходов являются многочисленные уровни 3H и 3F термов, которые также служат верхними уровнями для излучательных $f \rightarrow f$ переходов с $\tilde{\nu} < 22000 \text{ см}^{-1}$. Наличие такого свечения при возбуждении кристаллов ионизирующими излучениями обуславливает появление в сцинтилляциях медленной компоненты.

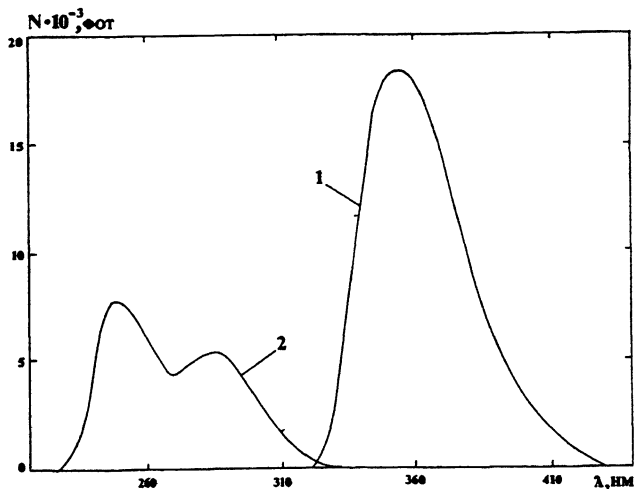


Рис. 1. Спектры стационарной ренгелюминесценции монокристаллов $YAlO_3$, активированных Ce (1) и Pr (2) в области межконфигурационных переходов. Источник возбуждения - рентгеновская трубка с медным анодом, $T=300$ К.

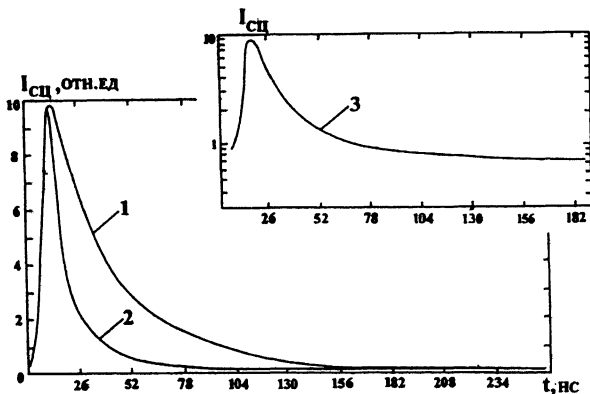


Рис. 2. Кинетика импульса сцинтилляций монокристаллов $YAlO_3$, активированных Ce (1) и Pr (2) при возбуждении α -частицами источника ^{238}Pu ; (3) - форма импульса сцинтилляции $YAlO_3:Pr$ в логарифмическом масштабе. $T=300$ К, ФЭУ 56AVP.

Сцинтиллятор	ρ , г/см ³	λ , нм	τ , нс	η , %*	Ссылка
BaF_2	4.88	310 225	620 0.8	20 4	[5]
CsF	4.64	390	5	5	[5]
$YAlO_3:Ce$	5.55	347	28±2	40	[4]
$YAlO_3:Pr$	5.55	247, 283 > 510	10 2000	15 ≤15	

*Относительно $NaI(Tl)$.

Установлено, что в кристаллах $YAlO_3:Pr$ реализуется весьма благоприятная ситуация. Излучательный $4f^1(2F_{5/2})5d^1(2T_2)$ уровень имеет энергию $\bar{\nu} = 40\,450\text{ см}^{-1}$ и, следовательно, 1S_0 уровень не оказывает тушащего воздействия на МКЛ. Кроме того, малое время затухания МКЛ, а также относительно большой энергетический зазор между излучательным уровнем и компонентами нижних термов f^2 -конфигурации практически устраняют мультифонное тушение МКЛ. Следует также отметить, что в кристаллах $YAlO_3:Pr$ конечными состояниями межконфигурационных излучательных переходов являются преимущественно нижние компоненты термов 3H и 3F_3 , что в значительной мере сокращает в кривой высвечивания сцинтилляции долю медленной компоненты.

Исследованные кристаллы выращивались методами Чохральского и горизонтально направленной кристаллизации.

На рис. 1 приведен спектр стационарной ренгелюминесценции монокристалла $YAlO_3:Pr$ в сравнении со спектром известного сцинтилляционного материала $YAlO_3:Ce$ [4]. Сравнение площадей под контурами люминесценции показывает, что световыход монокристаллов $YAlO_3:Pr$ в $d \rightarrow f$ полосе достигает 40% от $YAlO_3:Ce$. Поскольку сцинтилляционная эффективность η кристаллов $YAlO_3:Ce$ составляет 40% относительно $NaI(Tl)$ [4], то следует полагать, что для $YAlO_3:Pr$ $\eta \leq 16\%$. На рис. 2 приведен импульс сцинтилляции $YAlO_3:Pr$ в сравнении с импульсом сцинтилляции $YAlO_3:Ce$ ($\tau = 30$ нс). Как видно из формы импульса сцинтилляции, представленной в логарифмическом масштабе, начальная стадия кинетики имеет время затухания τ не более 10 нс в диапазоне амплитуд $I = I_0(1-0.2)$. Далее распад переходит в короткую неэкспоненциальную стадию и медленную компоненту. При этом амплитуда сцинтилляционной вспышки через время $t = 250$ нс от ее начала не превышает 5% максимального значения. В таблице приведены характеристики сцинтилляторов $YAlO_3:Pr$ в сравнении с известными быстродействующими неорганическими сцинтилляторами.

Кристаллы обладают высокими механическими характеристиками, негигроскопичны, радиационно стойки ($\geq 10^4 Gy$). Несомненным

достоинством активированных редкоземельными ионами монокристаллов $YAlO_3$ является освоенность их технологии.

Разработанные сцинтилляторы могут с успехом применяться во времяпролетных спектрометрах и других системах с высоким временным разрешением.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] L e s o q P., S c h u s s l e r M., S c h n e e - g o n s M. Preprint CERN. 191-124. 1991. P. 1-13.
- [2] М е й л ь м а н М.Л., К о л о м и й ц е в А.И., К е - в о р к о в А.М. и др. // Оптика и спектроскопия. 1984. Т. 57. С. 239-241.
- [3] W e b e r M.J. // Sol. St. Comm. 1973. V.12. P.741-744
- [4] B a r y s h e v s k y V.G., K o r z h i k M.V., M o - r o z V.I. et al. // NIM. 1991. B58. P. 291-293.
- [5] Каталог „Harshow radiation detectors". 1984.

Поступило в Редакцию
4 декабря 1991 г.