

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УМР ДИАПАЗОНА

И.А. Житник, И.П. Тиндо, В.А. Слемзин, Н.П. Социн^{*}, В.Н. Рудковский^{**}

Описан люминесцентный экран-преобразователь ультрамягкого рентгеновского изображения, работавший в составе солнечного рентгеновского телескопа ТЕРЕК на космическом аппарате "Фобос-1". Приведены результаты измерений эффективности в УМР области спектра экранов на основе различных кристаллофосфоров, рассматривается технология изготовления экранов.

Описываемый в статье люминесцентный экран-преобразователь разработан для бортового рентгеновского телескопа ТЕРЕК и служит для трансформации ультрамягкого рентгеновского (УМР) изображения в видимое, которое после усиления электронно-оптическим преобразователем (ЭОП) регистрируется фотоэлектрическим приемником — охлаждаемой ПЗС-матрицей /1/. Экран должен обладать высокой эффективностью в рабочих участках спектра $\lambda = 0,5 - 2,5$ нм (канал X), $\lambda = 17$ и $30,4$ нм (канал МХ) и быть нечувствительным к интенсивному видимому излучению Солнца. Пространственное разрешение экрана должно соответствовать размерам ячеек на входе ЭОП (50×78 мкм² в поле 11×15 мм²), он должен обладать высокой однородностью и стабильностью в условиях длительной работы в космосе, выдерживать механические и акустические перегрузки, которым аппаратура подвергается при запуске. Люминесцентные экраны-преобразователи УМР диапазона в космических экспериментах не применялись, в литературе необходимые данные об эффективности кристаллофосфоров на рабочих длинах волн прибора ТЕРЕК отсутствуют.

В работе была измерена эффективность в УМР области различных промышленных кристаллофосфоров и разработана технология их нанесения на подложку — волоконно-оптическую пластину (ВОП). Используемые в качестве подложек ВОП имеют разрешение 70 пар линий на мм и числовую апертуру 1,05. В узле приемника изображения экран устанавливается в оптическом контакте с волоконно-оптическим входным окном ЭОП, что обеспечивает передачу изображения с высокой эффективностью.

Применение традиционного способа изготовления экрана — седиментации кристаллофосфора из суспензии с добавкой силикатного биндера — в нашем случае оказывается невозможным ввиду сильного поглощения возбуждающего излучения в пленке биндера, покрывающей люминесцентные зерна. Поэтому были испытаны два других способа нанесения люминесцентного слоя на подложку.

В разработанной в РГУ модификации способа "монослой" /2/ на подложку предварительно наносился медленно твердеющий подслои на основе раствора эпоксидной смолы в хлороформе. На него напылялся из воздушной взвеси и уплотнялся придавливанием слой кристаллофосфора.

В разработанной нами модификации способа фотокоагуляции осаждение производилось из суспензии с фотобиндером на основе винилового спирта /3/. Метод УФ травления позволяет удалить фотобиндер с передней поверхности зерен люминесцентного слоя /4/.

Измерения эффективности кристаллофосфоров и экранов в УМР области проводились в ФИАН и РГУ. Рентгеновская установка ФИАН собрана на базе большой вакуумной камеры "Икар". В качестве источника возбуждающего излучения применены рентгеновская трубка со сменным острым анодом (при $\lambda = 1,3 - 17$ нм) и газоразрядная трубка Пеннинга (при $\lambda = 30,4$ нм). Монохроматизация излучения обеспечивалась селективными зеркалами нормального падения с многослойным интерференционным покрытием, а также тонкопленочными фильтрами. Приемником люминесцентного излучения служил фотоумножитель ФЭУ-140 с фотокатодом типа S-25, имеющий максимум чувствительности при $\lambda = 550$ нм, что близко к соответствующему

^{*} НИО "Платан".

^{**} Ростовский государственный университет.

ющей характеристике ЭОП, использованного в телескопе. Поток возбуждающего рентгеновского излучения контролировался каналным умножителем КЭУ-6 и пропорциональным счетчиком с тонкопленочным окном. В длинноволновой части спектра использовались линии алюминия L (17,1 нм) и He II (30,4 нм). При измерениях на длинах волн $\lambda = 1,3$ и 4,4 нм образцы облучались прямым излучением рентгеновской трубки, при этом фильтрами выделялись характеристические линии L меди и K_{α} углерода.

Таблица 1

Эффективность кристаллофосфоров (отн. ед. *) в УМР области спектра

Кристаллофосфор	Длина волны, нм		
	1,3	4,4	17,1
Gd ₂ O ₂ S (Tb)	12	17	10
Y ₂ O ₂ S (Tb)	18	29	8
LaBr (Tb)	16	17	6
BaFCl (Eu)	—	20	6
Ba ₂ (PO ₄) ₂ (Eu)	7	8	5
BaMgAl ₁₀ O ₁₇ (Eu)	—	—	3,5
CaWO ₄	3	—	4
SrSO ₄ (Sm)	3	—	1,5
ZnS (Ag)	14	8	1

* Соотношения эффективностей при трех длинах волн произвольны.

Таблица 2

Результаты измерения квантового выхода экрана (P-545, 3,1 мк/см²) на монохроматоре РСМ-500

Длина волны, нм	Отсчеты, имп/с				Технический квантовый выход *
	в оптическом канале			в рентгеновском канале	
	общий	фон	разность		
6,46	1636	1016	620	10056	5,3
17,0	1366	1238	128	4803	3,8
30,0	714	667	47	1880	2,7

* Число видимых фотонов, выходящих из подложки экрана в пределах 2π ср при поглощении одного рентгеновского фотона.

Т а б л и ц а 3

Относительные эффективности кристаллофосфоров, измеренные на установке "Икар" ($\lambda = 30,4$ нм)

Кристаллофосфор	ИАГ				P-545			Салицилат натрия	Фон
	1	2	3	4	5	6	7	8	
№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	
Ток ФЭУ, 10^{-10} А	240	270	230	380	930	690	590	290	15

В РГУ измерения выхода рентгенолюминесценции проводились на монохроматоре РСМ-500 при существенно меньших рентгеновских потоках. Поэтому люминесцентный поток измерялся фотоумножителем (ФЭУ-140) в режиме счета фотонов. Поток возбуждающего рентгеновского излучения оценивался по потоку фотоэлектронов в канале сравнения, эмиттируемых фотокатодом Au с известной величиной выхода.

Некоторые результаты измерений выхода рентгенолюминесценции исследованных кристаллофосфоров и образцов экранов приведены в табл. 1 – 3. Наибольший выход имеют оксисульфиды гадолиния и иттрия, активированные тербием. Величина технического квантового выхода оценивалась с точностью до коэффициента порядка 2 путем сравнения с салицилатом натрия, выход которого в исследуемой области спектра измерен и близок к единице /5/. Выход оксисульфида гадолиния (известный катодо- и рентгенолюминофор P-545) составляет при $\lambda = 1,3$ и 30 нм соответственно 8 и 3 видимых фотонов на один рентгеновский фотон, уменьшаясь с ростом длины волны.

Для защиты от длинноволнового солнечного излучения на поверхность люминесцентного слоя наносился слой Al толщиной 0,1 мкм с оптической плотностью 5 – 6.

Была исследована возможность изготовления экрана известной конструкции с защитным слоем Al на основе пластинки толщиной 10 мкм из монокристалла иттрий-алюминиевого граната (ИАГ), активированного тербием и церием. Измерения показали, что эффективность такого экрана, с гранатом, находящимся в "оптическом контакте" с подложкой, в 3 раза ниже, чем у кристаллофосфора P-545. Однако при изменении условий прохождения света на границе кристалл – подложка эффективность лабораторных образцов повышалась в четыре раза /6/. В другом варианте конструкции экрана, с сохранением "оптического контакта" кристалла с подложкой, удалось существенно повысить отношение сигнал/шум в условиях длинноволновой фоновой засветки (без учета действия защитного селективного фильтра) /7/.

Сравнение качества экранов, изготовленных методами осаждения из воздушной взвеси и фотокоагуляции, показало, что они имеют примерно равную эффективность. Однако второй метод обеспечивает более высокую однородность оптической плотности и лучшую воспроизводимость. Поэтому при изготовлении экранов для телескопа ТЕРЕК был применен метод фотокоагуляции.

За время работы межпланетной станции "Фобос-1" с помощью прибора ТЕРЕК было получено более 140 высококачественных изображений Солнца с угловым разрешением до $15''$.

Авторы приносят глубокую благодарность В.В. Корнееву, И.И. Лобановой, М.М. Митропольскому, А.В. Митрофанову, Л.М. Рабкину, Т.А. Скабаллонович, Д.Н. Токарчуку, принявшим участие в разработке, изготовлении и калибровке экранов-преобразователей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Собельман И.И. и др. Препринт ФИАН № 241, М., 1988.
2. Sams B. J. III, Golub L., Kalata K. Journ. Phys. and Sci. Instrum., 21, 302 (1988).
3. Bathelt R., Vermeulen G. Philips Techn. Rev., 23, 133 (1961).
4. Валиев К.А. и др. ПТЭ, № 4, 224 (1983).
5. Krakowski E. Z. f. Naturwissenschaften., 45, 509 (1958).
6. Житник И. А. и др. Авторская заявка 4487491 от 20.06.88.
7. Житник И. А. и др. Авторская заявка 4448917 от 29.07.88.

Поступила в редакцию 9 марта 1989 г.