

УДК 621.383.8

О ВРЕМЕНИ ЗАТУХАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЭКРАНОВ ПИКОСЕКУНДНЫХ ЭОП ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ПОВТОРЯЮЩИХСЯ СИГНАЛОВ В РЕЖИМЕ НАКОПЛЕНИЯ

К. А. Верещагин¹, П. Б. Горностаев¹, С. Р. Иванова¹, Т. П. Кулеченкова¹,
Г. П. Левина¹, В. А. Макушина¹, О. И. Мешков^{2,3}, А. В. Смирнов¹,
Е. В. Шашков¹, М. Я. Щелев¹

При замене в пикосекундных ЭОП традиционных “медленных” люминесцентных экранов (P20, P43) на “быстрые” (P46, P47), обнаружено увеличение (в 2–5 раз) времени затухания “быстрых” катодлюминофоров при увеличении числа (от одиночного до сотни) регистрируемых импульсов. Учет обнаруженного эффекта позволяет скорректировать постановку задачи при создании пикосекундных диссекторов, предназначенных для регистрации повторяющихся сигналов в режиме накопления (например, синхротронного излучения).

Ключевые слова: пикосекундные ЭОП, быстрые катодлюминофоры, диагностика повторяющихся сигналов (в т.ч. синхротронного излучения) в режиме накопления.

Введение. В рамках проведения работ по созданию диссектора, предназначенного для диагностики синхротронного излучения с временным разрешением в единицы пикосекунд, изучено поведение времени затухания двух катодлюминофоров (P43 и P46) [1], устанавливаемых в пикосекундных ЭОП типа ПИФ-01/S1, разработанных и изготавливаемых в Отделе фотоэлектроники ИОФ РАН. Показано, что длительность послесвечения “быстрых” люминофоров (типа P46) зависит от числа накапливаемых на экране повторяющихся сигналов пикосекундной длительности, в то время как для “мед-

¹ ИОФ РАН, 119991 Россия, Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: m.schelev@ran.gpi.ru.

² Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, 630090 Россия, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11; e-mail: O.I.Meshkov@inp.nsk.su.

³ Новосибирский государственный университет, 630090 Россия, Новосибирск, улица Пирогова, 2.

ленных” люминофоров (типа Р43), традиционно используемых в изготавливаемых нами пикосекундных ЭОП, такой зависимости не обнаружено.

При разработке концепции построения нового поколения пикосекундных диссекторов, призванных придти на смену легендарным отечественным диссекторам модели ЛИ-602 [2–4], в качестве базовой модели времяанализирующего ЭОП была выбрана трубка ПИФ-01/S1, разработанная в ИОФ РАН в 80-х годах прошлого столетия [5]. Эта трубка гарантирует временное разрешение порядка 1 ± 0.2 пс в режиме однократной щелевой (стрик) развертки изображений быстропротекающих процессов (БПП) с фазовыми скоростями $\sim 2 \cdot 10^{10}$ см/с [6, 7].

На первом этапе работы представлялось целесообразным не нарушать десятилетиями отработанную технологию изготовления трубок ПИФ-01/S1, что могло бы произойти при их стыковке с вакуумными электронными умножителями. Было принято решение ограничиться заменой в ПИФ-01/S1 традиционно используемых “медленных” люминесцентных экранов типа Р43 на быстрые типа Р46. При этом считалось, что временное разрешение ПИФ-01/S1 сохранится на уровне одной пикосекунды, как и в случае регистрации однократных неповторяющихся сигналов, когда существует достаточно времени (время затухания люминофора Р43 порядка миллисекунд) для последующего считывания и компьютерного анализа “развернутых” во времени на экране ЭОП изображений. Считывание изображений с экрана ЭОП в формате 1000×1300 пикселей нами производится с помощью ПЗС-камеры за времена порядка миллисекунд. Однако в режиме накопления повторяющихся сигналов на экране ЭОП постоянная времени высвечивания люминофора становится фактором, ограничивающим качество считываемых с экрана изображений, в связи с наличием остаточных сигналов от предыдущих изображений. Поэтому важным фактором становится вопрос о нахождении “быстрого” люминофора с эффективностью преобразования фотоэлектронных изображений в видимые не хуже, чем у традиционных катодолюминофоров (например, для Р43 эффективность преобразования энергии 10–15 кэВ фотоэлектронного пучка в свет (543 нм) оценивается в 10–20%). При этом быстродействие устройства считывания развернутых во времени с пикосекундным разрешением и накопленных на экране ЭОП повторяющихся изображений должно быть согласовано с постоянной времени затухания его люминофора, причем на уровне до $10^{-4} - 10^{-6}$ от максимальной интенсивности высвечивания. Вот почему представлялось целесообразным измерять время затухания катодолюминофоров на уровне 10^{-3} и менее в режиме накопления повторяющихся сигналов на экранах

пикосекундных ЭОП, имея в виду эффекты искажения за счет запоминаемых экраном ранее пришедших сигналов.

Методика эксперимента. В эксперименте использовался Nd:YAP-лазер, работающий в режиме модулированной добротности и самосинхронизации продольных мод с внутрирезонаторной отрицательной обратной связью на кристалле GaAs, генерирующий пучок импульсов длительностью ~ 1 мкс с частотой следования 1 Гц. Длительность каждого импульса в пучке составляла 8 пс с аксиальным интервалом между ними 8 нс, спектральная ширина лазерных импульсов в средней части пучка составляла ~ 0.3 нм с центром на длине волны 1079.5 нм. С помощью ячейки Погкельса либо выделялся одиночный пикосекундный импульс с энергией ~ 3 мкДж, либо выделялась пачка импульсов (приблизительно 120 импульсов). Лазерное излучение направлялось на фотокатод одной из пикосекундных трубок модели ПИФ-01/S1. В эксперименте использовались пикосекундные ЭОП с очень близкими техническими параметрами (по чувствительности фотокатода, режиму включения и т.п.), с той лишь разницей, что в качестве их люминесцентных экранов использовались либо “быстрые” люминофоры ($Y_3Al_5O_{12}:Ce$, аналог P46), либо “медленные” ($Gd_2O_2S:Tb$, аналог P43). Ускоряющее напряжение, подаваемое на ЭОП, составляло 12 кВ. Люминофоры отечественного производства были нам предоставлены группой профессора Н. П. Социна [8].

Для регистрации излучения от люминесцентных экранов, возбуждаемых 12 кэВ фотоэлектронными импульсами длительностью ~ 8 пс, использовался фотоумножитель модели СНФТ-3. Спектральная чувствительность его фотокатода покрывала диапазон 350–600 нм. Выходной сигнал ФЭУ регистрировался на осциллографе с последующей обработкой на компьютере. Сквозная полоса пропускания тракта регистрации светоотдачи люминофоров позволяла измерять временные параметры с точностью до наносекунд. Благодаря идентичности параметров используемых ЭОП, полагалось, что разброс параметров фотоэлектронных пучков, облучающих различные люминофоры, укладывался в экспериментальную погрешность $\pm(10 - 20)\%$.

В таблице 1 суммированы полученные экспериментальные данные по времени высвечивания “быстрого” (P46) и “медленного” (P43) люминофоров в зависимости от числа фотоэлектронных импульсов, попадающих на выходной экран ЭОП. Последняя строчка содержит сведения, соответствующие попаданию на экраны всего пучка из 120 импульсов. Для наглядности на рис. 1 приведены результаты измерений в графическом виде.

Т а б л и ц а 1

Время затухания люминофоров Р46 и Р43 в зависимости от числа возбуждающих фотоэлектронных импульсов

К-во импульсов	Р46				
	Полная ширина FWHM, μs	Задний фронт, время затухания (μs) от максимума до уровня 10^{-1}	Задний фронт, время затухания (μs) от максимума до уровня 10^{-2}	Задний фронт, время затухания (μs) от максимума до уровня 10^{-3}	Время высвечивания (95% энергии) (μs)
1	0.048	0.203	1.193	5.558	1.025
5	0.071	0.246	1.342	6.292	1.031
25	0.205	0.34	2.995	14.515	1.075
Цуг (~ 120)	0.974	1.088	8.558	40.868	4.574
К-во импульсов	Р43				
	Полная ширина FWHM, μs	Задний фронт, время затухания (μs) от максимума до уровня 10^{-1}	Задний фронт, время затухания (μs) от максимума до уровня 10^{-2}	Задний фронт, время затухания (μs) от максимума до уровня 10^{-3}	Время высвечивания (95% энергии) (μs)
1	9.1	404	1319	2235	755.7
5	16.6	438.1	1387	2303	755.7
25	29.2	571.6	1928	3250	1341
Цуг (~ 120)	90.8	774.6	2063	3317	1343

Интересно отметить, что “медленный” люминофор (Р43) практически не реагирует на количество возбуждающих его 8 пс фотоэлектронных импульсов. Так, на уровне 10^{-3}

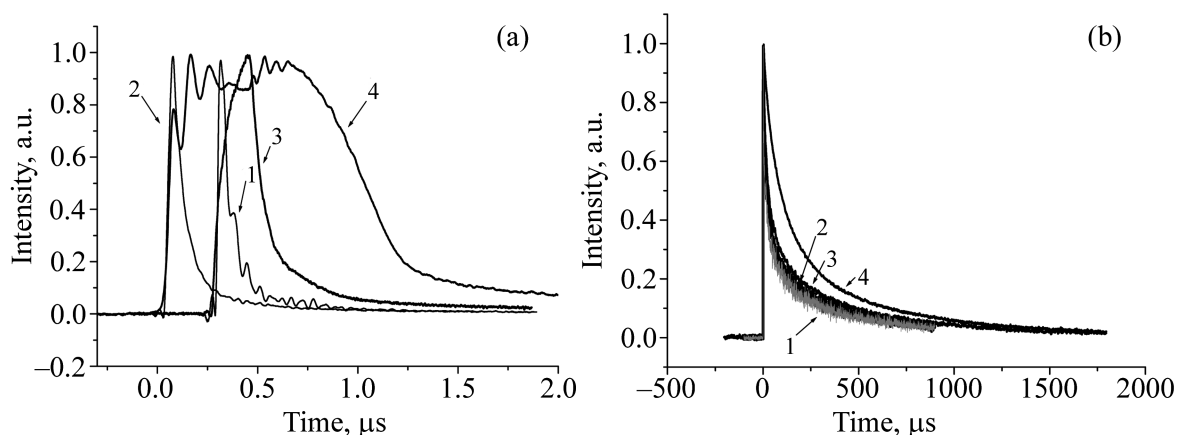


Рис. 1: Импульсный отклик быстрого P46 (a) и медленного P43 (b) люминофоров в зависимости от числа возбуждающих люминофор 8 пс фотоэлектронных импульсов. (1) – один импульс, (2) – 5 импульсов, (3) – 25 импульсов, 4 – весь цуг импульсов. Кривая (4) на рис. 1(a) “отслеживает” огибающую формы цуга импульсов.

от максимума интенсивности его свечения, время затухания удлинится не более чем в 1.5 раза при возбуждении люминофора либо одиночными 8 пс, 12 кэВ электронными импульсами, либо цугом таких импульсов (от 2.2 мс до 3.3 мс). Совсем иное поведение обнаруживают “быстрые” люминофоры (P46): время затухания их высвечивания удлинится от 5.5 до 40.8 мкс при переходе от одиночного импульса к цугу из 120 импульсов.

Полученные экспериментальные данные имеют принципиальное значение при построении системы считывания изображений, развернутых в плоскости экрана ЭОП с пикосекундным временным разрешением. Эти данные позволяют выработать требования на время считывания и обработки проанализированных с пикосекундной точностью на ЭОП изображений, независимо от того, какая система считывания будет использоваться – ВЭУ, ФЭУ, ПЗС-матрица, МКП-усилители яркости и т.п.

Данные исследования были выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-29-00295).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. А. Vereschagin, N. S. Vorob'ev, M. Ya. Schelev, et al., Journal of Russian Laser Research **35**(6), November, 617 (2014).

- [2] М. М. Бутслов, В. С. Комельков, Ю. Е. Нестерихин. Успехи научной фотографии, **9**, 72 (1964).
- [3] Э. П. Кругляков, Ю. Е. Нестерихин, “Теплофизика высоких температур” **3**(4), 617 (1965).
- [4] Л. М. Диамант, А. М. Искольдский, М. И. Кудряшов, Ю. Е. Нестерихин, “Теплофизика высоких температур” **9**(3), 617 (1971).
- [5] V. P. Degtyareva, Yu. V. Kulikov, M. A. Monastyrski, et al., Proc. SPIE **491**, 239 (1984).
- [6] Н. С. Воробьев, В. И. Лозовой, А. М. Прохоров и др., Квантовая электроника **32**(4), 283 (2002).
- [7] С. Г. Гаранин, С. А. Бельков, Г. С. Рогожников и др., Квантовая электроника **44**(8), 798 (2014).
- [8] В. А. Большухин, В. Н. Личманова, А. Н. Малова и др., Электронная техника **113**, 28 (1986).

Поступила в редакцию 5 декабря 2014 г.