

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. М.В.ЛОМОНОСОВА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Д.В.СКОБЕЛЬЦЫНА**

**С.Г. Дамбраускас, А.Т. Рахимов, В.Б. Саенко**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ВРЕМЕННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮМИНОФОРОВ.**

**Препринт НИИЯФ МГУ - 2003-5/718**

Москва - 2003

УДК 621.3.032.35

ББК 22.345

Д16

E-mail: [VSaenko@mics.msu.su](mailto:VSaenko@mics.msu.su)

Preprint of Institute of Nuclear Physics № 2003-5/718

**S. G. Dambrauskas, A.T. Rakhimov, V. B. Saenko**

## **THE INVESTIGATION OF SPECTRAL AND TIME RESPONSES OF LUMINOPHORS.**

### Abstract

In the given article the experimental results on study of spectral and time responses of color luminophors used in fluorescent lamps and plasma display panels (PDP) are described. The spectra of a luminescence of the basic marks of luminophors are obtained at stimulation by a ultraviolet (UV) radiation. The dependence of efficiency of luminophore radiation from UV wavelength is investigated. Parameters of luminophores of the different grades have been compared.

This work is supported by RFBR, grants № 00-15-96554, № 02-02-08069.

**С. Г. Дамбраускас, А. Т. Рахимов, В. Б. Саенко**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮМИНОФОРОВ.**

### Аннотация

В данной работе представлены экспериментальные результаты по исследованию спектральных и временных характеристик цветных люминофоров, используемых в люминесцентных лампах и плазменных дисплейных панелях/. Получены спектры люминесценции основных марок люминофоров при возбуждении ультрафиолетовым излучением. Измерена зависимость эффективности высвечивания люминофора от длины волны возбуждающего света. Проведено сравнение параметров люминофоров различных марок.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 02-02-08069-инно, № 00-15-96554).

© Дамбраускас С.Г., Рахимов А.Т., Саенко В.Б.

© НИИЯФ МГУ, 2003

## 1. Введение.

Совершенствование люминесцентных ламп и плазменных цветных дисплеев [1-4] в значительной мере зависит от выбора фотолюминофоров [1-3] и катодлюминофоров [4]. В настоящее время проводятся интенсивные разработки различных люминофоров для светоизлучающих приборов и необходимы экспериментальные экспресс-методы по определению их физико-технических параметров. Как правило, люминофорные экраны возбуждаются электронными или фотонными пучками соответствующих энергий. Отсюда следуют достаточно стандартные требования к подобным системам накачки, которые определяют эффективность светоизлучающих приборов в целом. Энергия бомбардирующих люминофор электронов или квантов света должна обладать определенной селективностью и соответствовать спектрам фотовозбуждения люминофоров, излучающих в заданных участках спектра для генерации света с определенными цветовыми характеристиками. Интенсивность высвечивания цветных люминофоров будет зависеть от эффективности выбранной системы накачки, квантового выхода люминофоров и геометрических характеристик нанесения люминофорных и технологических тонкопленочных покрытий, формирующих люминофорный экран для вывода излучения с заданными спектральными параметрами. В зависимости от характера использования светоизлучающих приборов применяются люминофоры с коротким или длинным временем высвечивания. Отметим, что при использовании R, G, B – люминофоров в цветных плазменных дисплеях [1-3] используется схема широтно - импульсной модуляции для кодирования уровня яркости при формировании полутоновых изображений. В этом случае требуется, чтобы люминофор успевал высветить всю вложенную в него энергию за период следования импульсов ультрафиолетовой накачки. Следовательно, важной характеристикой становится время высвечивания люминофоров. В данной работе представлены результаты разработки экспериментального стенда для исследования спектральных и временных характеристик люминофоров. Исследованы физико-технические

характеристики различных люминофоров и даны рекомендации по выбору люминофоров для светоизлучающих приборов. Кроме того, исследована термическая стойкость люминофоров, претерпевающих значительный нагрев в процессе технологического процесса сборки светоизлучающих приборов.

## 2. Методы экспериментальных исследований.

Проведены исследования наиболее широко используемых цветных люминофоров:

ФГИ-455-2 (В-синий),

ФГИ-528-1 (G-зеленый),

ФГИ-627/59- 3-1 (R- красный).

В качестве образца для сравнения использовались люминофоры, нанесенные на промышленный образец цветной плазменной панели фирмы Fujitsu. На рис.1 приведена принципиальная схема эксперимента. Из рисунка виден физический принцип действия люминофоров. Поглощаемое УФ и ВУФ излучение в люминофорах преобразуется в видимое излучение в соответствующем диапазоне длин волн. Для проведения исследований спектральных и временных характеристик люминофоров был создан специализированный экспериментальный стенд, рис. 2.

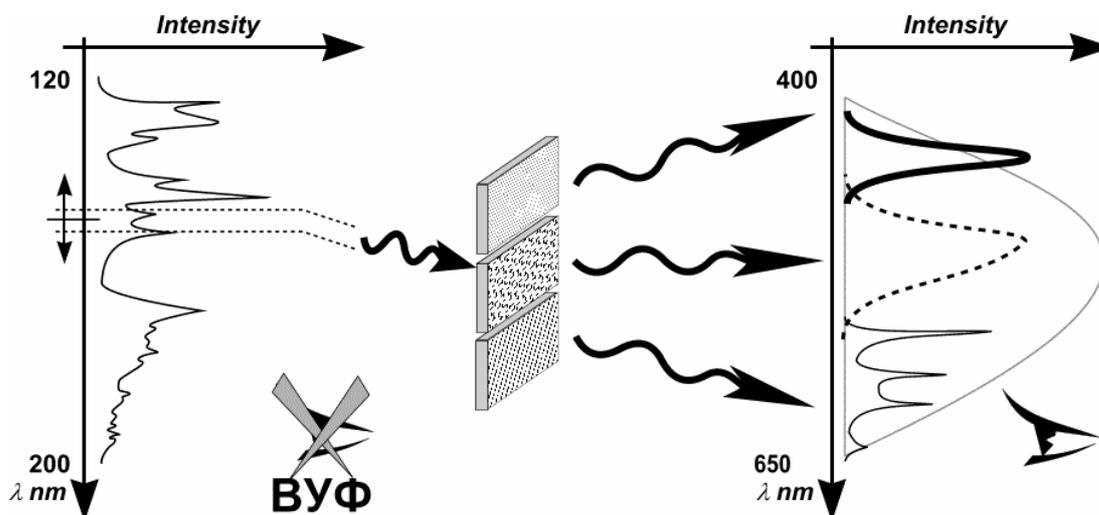


Рис. 1. Принципиальная схема эксперимента.

В качестве источника ультрафиолетового излучения для возбуждения люминесценции образцов люминофоров применялся либо эксимерный лазер Lambda Physics LPX210i, работающий на смеси ArF и излучающий на длине волны 193 нм, либо лазер на красителе с удвоением частоты, перестраиваемый в диапазоне 230 — 290 нм. В качестве источника накачки для лазера на красителе использовалась вторая гармоника YAG:Nd импульсного лазера. Оба источника ультрафиолетового излучения работали в импульсном режиме с длительностью импульса порядка 10 нсек и частотой следования до 80 Гц. Осветительная система на основе LiF оптики обеспечивала однородное по полю освещение образца заданной интенсивности. Мощность лазерного пучка определялась измерителем Labmaster с датчиком LM—P5. Для синхронизации регистрирующей аппаратуры с началом лазерного импульса использовался вакуумный фотоэлемент ФЭК — 19КПУ с временем отклика порядка 100 псек. Оптическая собирающая система фокусировала рассеянное назад (по схеме 180°) люминесцентное свечение на входную щель метрового монохроматора "B&M Spectronics" с решетками 600 штр/мм, обеспечивающего разрешение порядка 0.02 нм. Для регистрации светового потока применялся GaAs фотоумножитель ФЭУ—157 с линейной спектральной характеристикой. Временной и амплитудный анализ полученного сигнала проводился с помощью Voxcar System 4100 EG&G Princeton с дальнейшей математической обработкой на компьютере. Методика снятия временных спектров излучения люминофоров была следующей. Сначала на выбранной длине волны возбуждения люминесценции снимались спектры излучения люминофоров. Далее на длине волны, соответствующей максимуму интенсивности люминесценции снималась характеристика насыщения люминофора по мощности накачки. При снятии, в дальнейшем, временных спектров использовалась энергия накачки, соответствующая началу насыщения люминофора по мощности накачки.

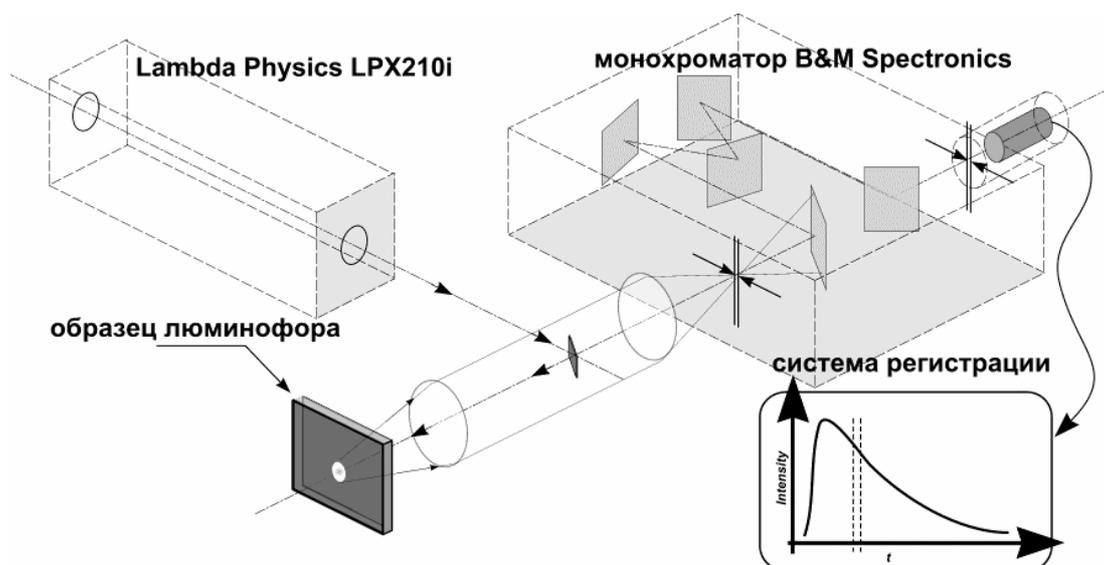


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для регистрации временных и спектральных характеристик.

### 3. Квантовая эффективность люминофоров.

В качестве источника ультрафиолетового излучения с известным спектром применялся оригинальный источник вакуумного ультрафиолета, рис.3., [3].

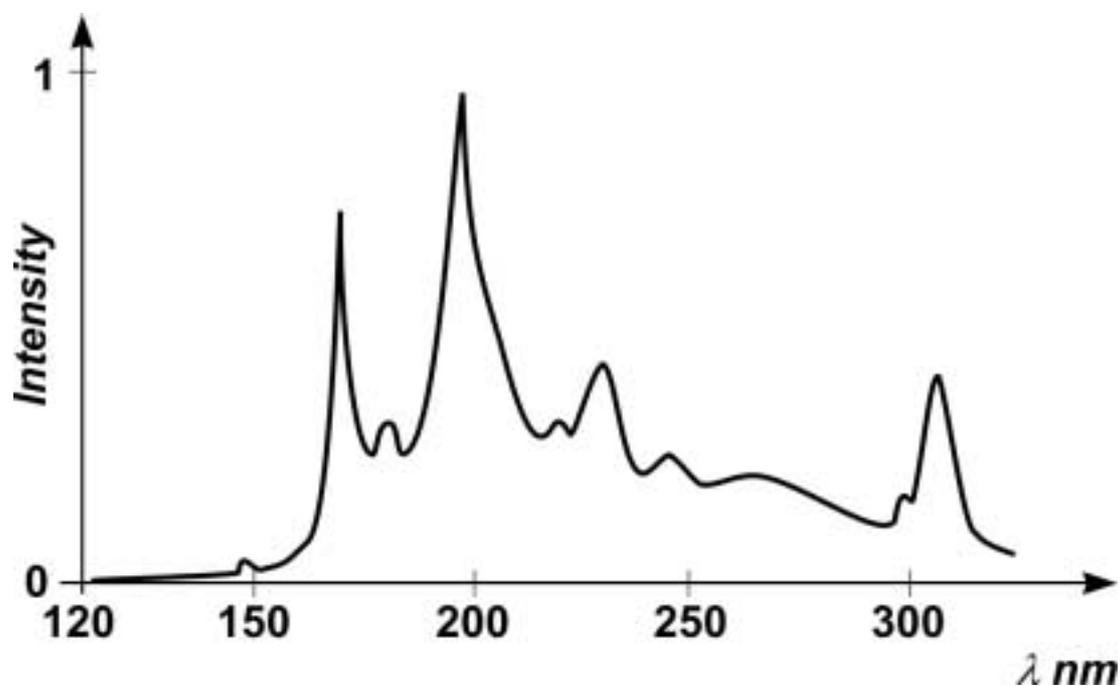


Рис. 3. Спектр излучения источника ВУФ в относительных единицах.

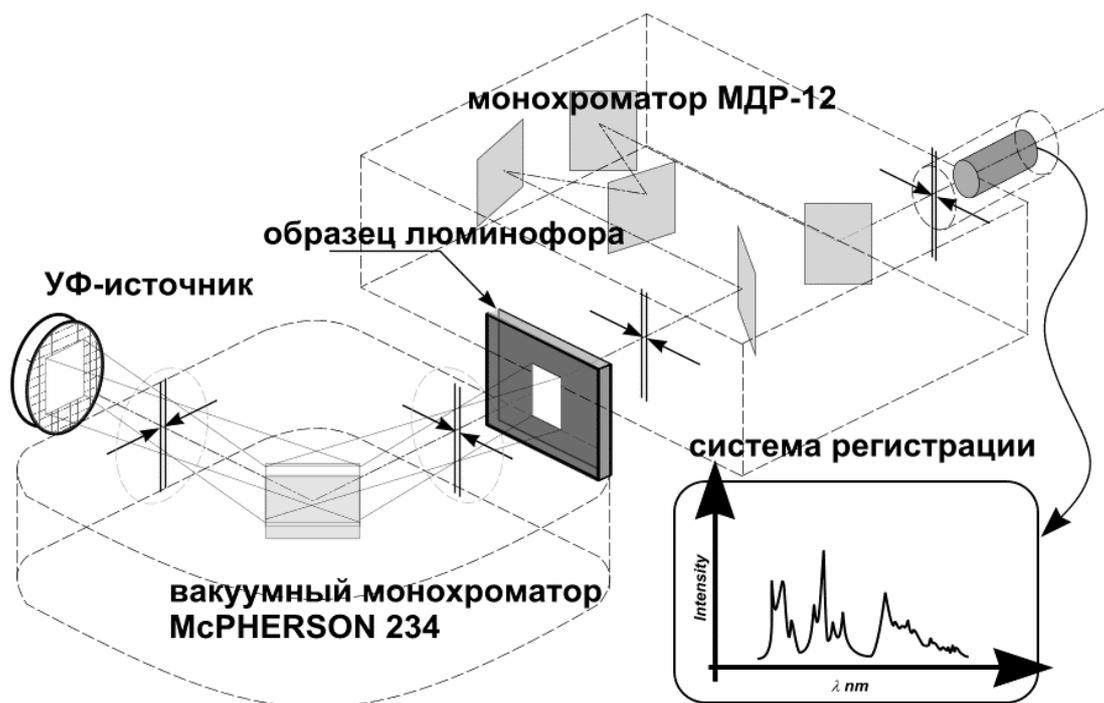


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для измерения квантовой эффективности люминофоров.

Далее из широкополосного спектра излучения эксимерной лампы с помощью сканирующего вакуумного монохроматора McPHERSON 234 вырезалась узкая спектральная полоса ультрафиолетового излучения, которая и использовалась для возбуждения люминофора, рис. 4. В ходе эксперимента регистрировалась яркость свечения люминофора в максимуме полосы его люминесценции в зависимости от длины волны возбуждающего света. Полученные спектры нормировались с учетом спектра возбуждения, кривой чувствительности фотоумножителя и зависимости коэффициента отражения данного образца люминофора от длины волны падающего на него света.

Приведенные спектры представляют собой зависимость произведения коэффициента фотопоглощения люминофора на его квантовую эффективность, выраженного в относительных единицах, от длины волны возбуждающего света. Данные приведены для используемых при производстве панелей люминофоров ФГИ—455, ФГИ—528 и ФГИ—628.

#### 4. Спектры люминесценции.

Полученные спектры люминесценции для этих марок люминофоров при возбуждении на длине волны 193 нм приведены на рис.5-7. Спектр люминесценции для люминофоров ФГИ—455—2 (синий) и ФГИ—528—1 (зеленый) представляет собой широкую полосу с максимумами на 457 нм и 523 нм соответственно. Спектр люминесценции люминофора ФГИ—627 (красный) представляет собой систему узких полос. Последнее обстоятельство накладывает повышенные ограничения на согласование спектра излучения разряда со спектром фотопоглощения люминофора с целью минимизации потерь при преобразовании энергии ультрафиолетового излучения разряда в видимое излучение, испускаемое люминофором. Следует отметить недостаточную яркость свечения зеленого люминофора. Интенсивности свечения, проинтегрированные по спектру излучения при одинаковых условиях накачки, соотносятся как 1:0.45:0.7 для синего, зеленого и красного люминофоров, соответственно.

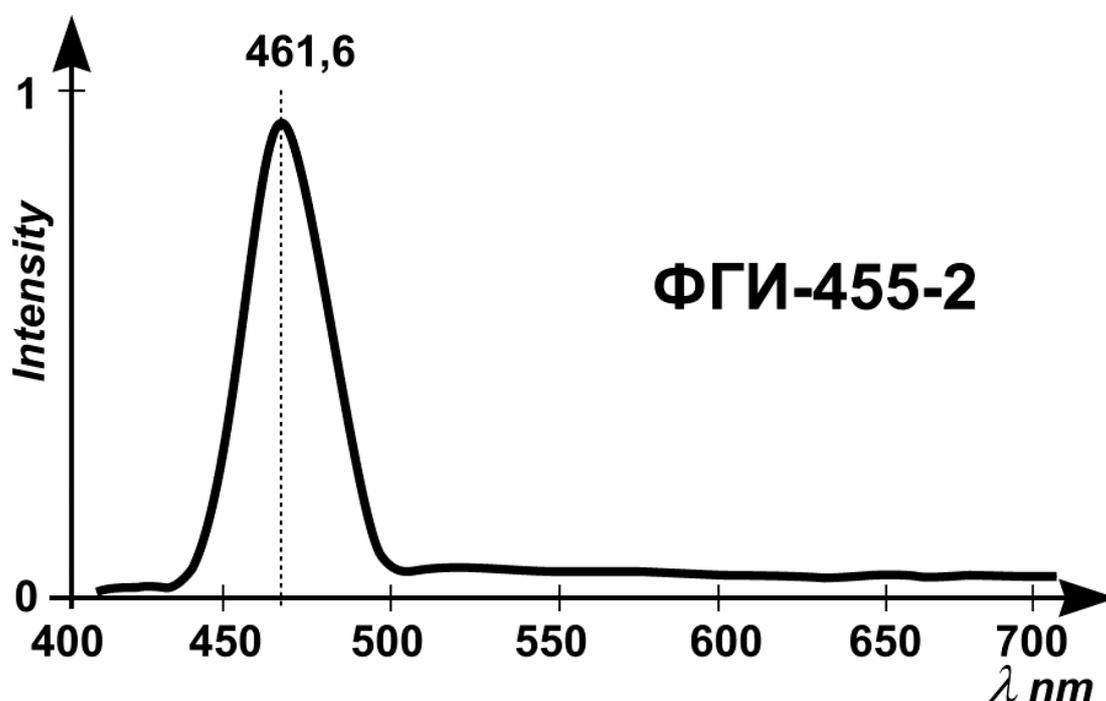


Рис. 5. Спектр излучения синего люминофора ФГИ - 455 – 2.

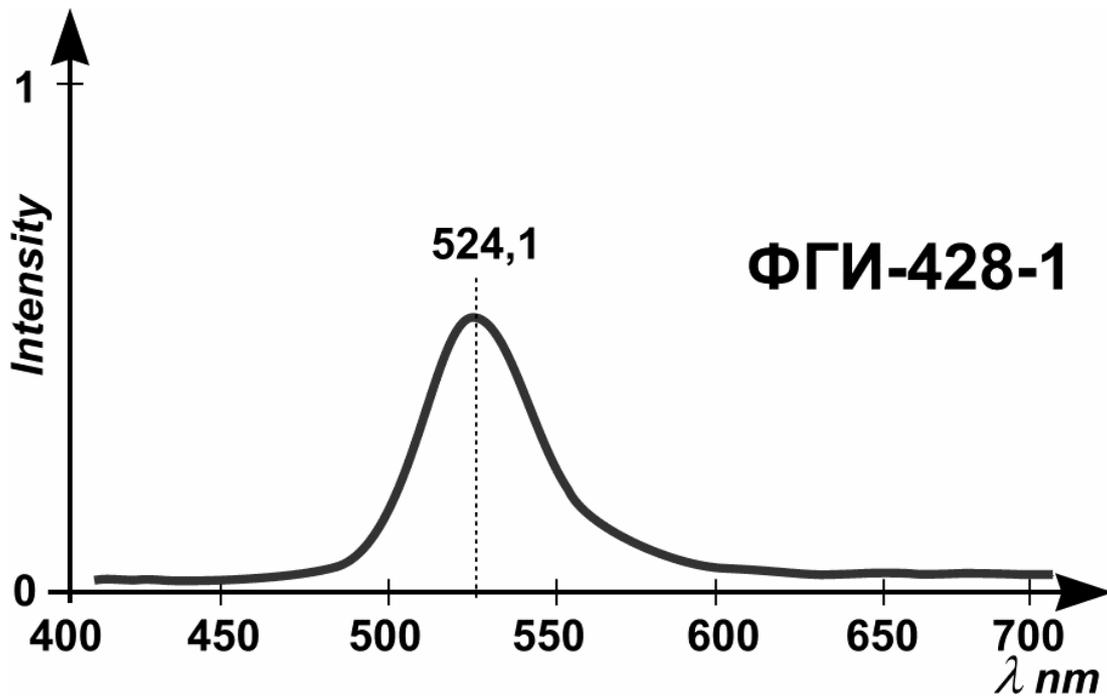


Рис. 6. Спектр излучения зеленого люминофора ФГИ - 428 – 1.

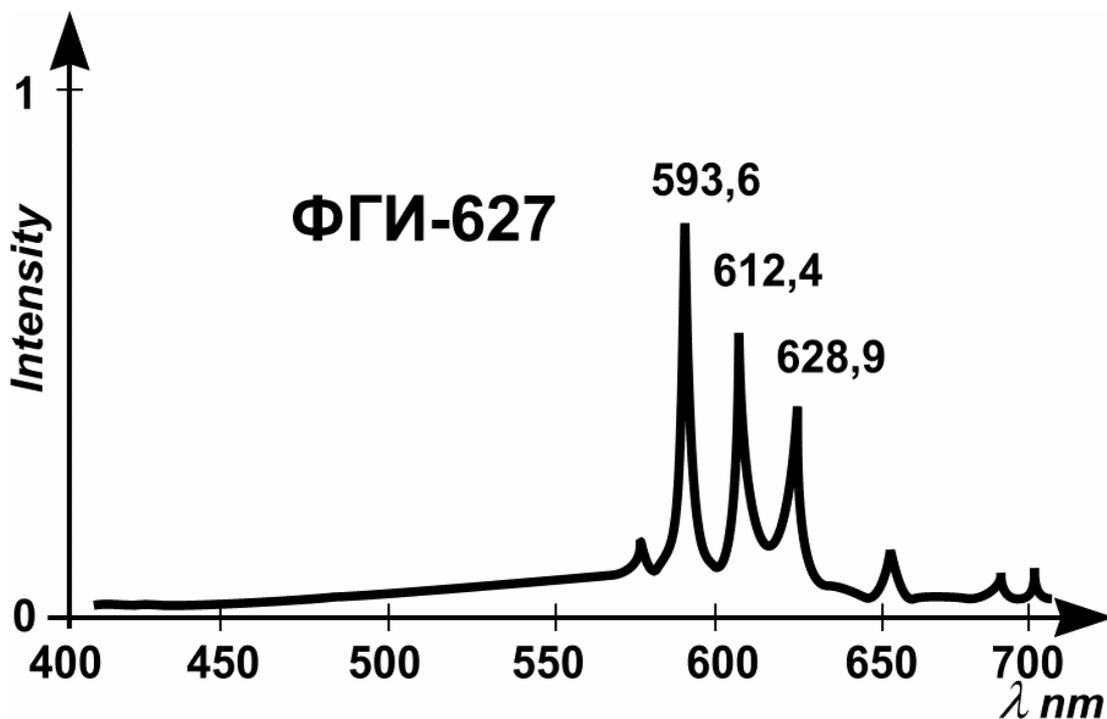


Рис. 7. Спектр излучения красного люминофора ФГИ – 627.

## 5. Временные характеристики люминесценции люминофоров.

Известно [1], что в цветных плазменных дисплеях используется схема широтно-импульсной модуляции для кодирования уровня яркости при формировании полутоновых изображений. В этом случае требуется, чтобы

люминофор успевал высветить всю вложенную в него энергию за период следования импульсов ультрафиолетовой накачки. Следовательно важной характеристикой становится время высвечивания люминофоров.

Ниже представлен типичный вид зависимости интенсивности люминесценции от времени на разных временных шкалах. На них снята зависимость интенсивности люминесценции от времени для люминофора ФГИ—528—1 при накачке 12 нсек импульсом лазерного излучения на длине волны 193 нм.

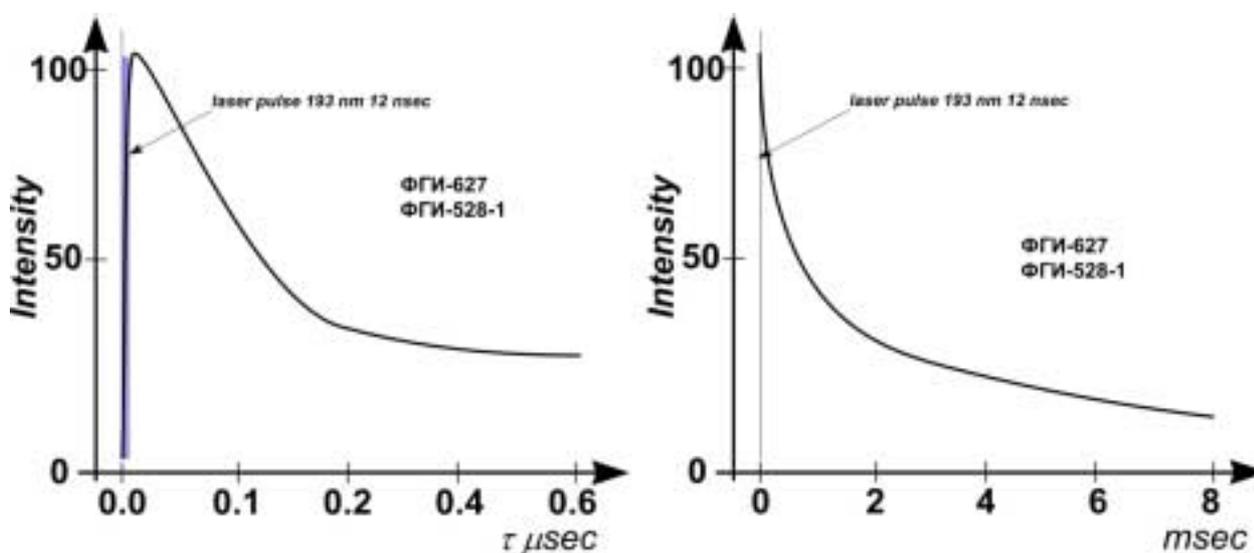


Рис. 8. Временные характеристики люминесценции люминофоров ФГИ - 627, ФГИ – 528 – 1 в разных временных масштабах.

Как можно видеть характерным является наличие трех постоянных времени высвечивания люминофора:  $t_0=0.047$  мксек,  $t_1=407$  мксек и  $t_2=6080$  мксек. Мгновенное значение светового потока падает до 25% от максимальной интенсивности за первые 200 нсек. Две последние постоянные времени определяют следующее распределение во времени высвечиваемой энергии: в течении первых 1.5 мсек выделяется 45% энергии, интенсивность светового потока падает до 10% от максимальной интенсивности; за следующие 8.5 мсек высвечивается остальные 55% и световой поток падает практически до нуля.

Подобным образом ведет себя и красный люминофор ФГИ—628. Для него характерно наличие двух постоянных времени  $t_0=42$  нсек, связанной с быстрыми резонансными процессами, и  $t_1 = 2.95$  мсек, определяющей основные процессы, связанные с высвечиванием световой энергии. Его характеристики сведены в следующую таблицу:

Интервал времени	Характерная постоянная времени	Интенсивность светового потока в % от максимальной в конце интервала времени	Количество энергии, высвеченной в течение интервала времени, %
0 - 340 нсек	42 нсек	22	<0.01
340 нсек - 1.5 мсек	2.95 мсек	10.5	36
1.5 мсек - 10 мсек	2.95 мсек	<1	74

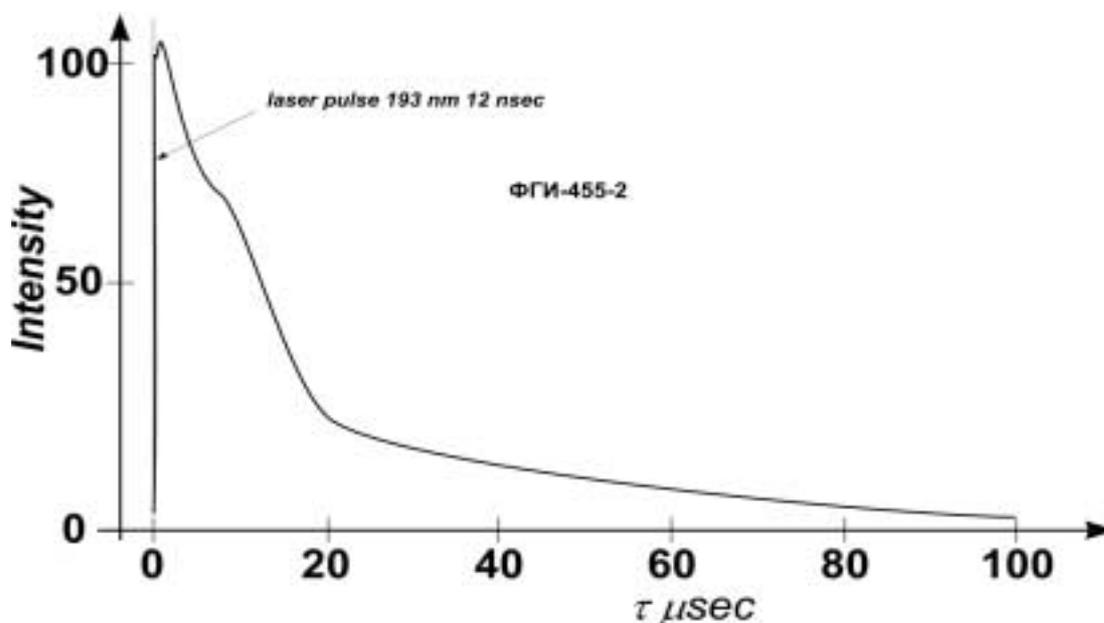


Рис. 9. Временные характеристики люминофора ФГИ – 455 – 2.

Принципиально отличается временной спектр люминофора ФГИ—455-2, рис. 9. Видно, что практически вся световая энергия высвечивается в течение 20 мксек.

## **6. Термическая устойчивость люминофоров.**

Одной из причин низкой световой отдачи светоизлучающих приборов может быть деградация люминофоров во время процессов технологической обработки с нагревом до  $600^{\circ}\text{C}$ . Для оценки влияния этого фактора были сняты зависимости яркости свечения люминофоров в максимуме полосы излучения для различных точек технологического цикла при производстве плазменных панелей. Максимально устойчивым является синий люминофор ФГИ-455-2. Для него падение яркости за время прохождения панели по технологическому циклу составило менее 10%. Люминофоры ФГИ-520 и ФГИ-627 с падением яркости на 35% и 23% соответственно, обладают пониженной термической стойкостью.

## **7. Заключение.**

В данной работе проведены исследования спектральных и временных характеристик триады (R,B,G) люминофоров, используемых в цветном плазменном дисплее. Получены спектры люминесценции наиболее широко применяемых марок люминофоров при возбуждении на длине волны 193 нм. Проведены исследования спектров фотопоглощения люминофоров и определена эффективность возбуждения вышеназванной триады люминофоров ФГИ—455, ФГИ—528 и ФГИ—628 монохроматичным ультрафиолетовым излучением. Измерены зависимости произведения коэффициента фотопоглощения люминофора на его квантовую эффективность от длины волны возбуждающего света.

В качестве выводов можно сформулировать следующее. Требуется дальнейший поиск красного и зеленого люминофоров, подходящих для

применения в плоских плазменных панелях. Люминофоры ФГИ—528 и ФГИ—628 являются слишком медленными, что приведет к ограничению максимальной частоты следования импульсов подсветки панели и, следовательно, яркости панели. Синий люминофор ФГИ—455 пригоден для использования в плоских плазменных панелях.

При сравнении образцов панели на основе вышеперечисленных российских люминофоров и панели фирмы Fujitsu было обнаружено, что ФГИ—455—2 обеспечивает более чистый синий цвет, чем соответствующий японский люминофор, зеленые люминофоры одинакового качества, красный люминофор ФГИ-627/59-3-1 излучает красно-оранжевое свечение и проигрывает по чистоте света соответствующему японскому люминофору.

### **Литература.**

1. L.F.Weber. Color Plasma Displays. Proc. of the SID, seminar M-9, 1995.
2. Н.Н. Рой, А.Т. Рахимов, В.Б. Саенко, Б.В. Коган. Цветная плазменная панель. Патент РФ № 2133516 от 20 июля 1999.
3. В.Ю.Гусев, В.Г.Пирогов, А.Т.Рахимов, Н.Н.Рой, Г.Б.Рулев, В.Б.Саенко. Газоразрядная лампа. Патент РФ № 2120152 от 10.10.1998.
4. Е.А.Муратов, А.Т.Рахимов, Н.В.Суетин. Источник света высокой яркости. Патент РФ № 2155416 от 27.08.2000.

**Станислав Георгиевич Дамбраускас  
Александр Турсунович Рахимов  
Владимир Борисович Саенко**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЛЮМИНОФОРОВ.**

Препринт НИИЯФ МГУ –2003 –5/718

Работа поступила в ОНТИ 13. 01. 2003 г.

ИД № 00545 от 06.12.1999

Издательский отдел  
Учебно-научного центра довузовского образования

117246, Москва, ул.Обручева, 55А  
119992, Москва, Ленинские горы, ГЗ МГУ, Ж-105а  
Тел./факс. (095) 718-6966, 939-3934  
e-mail: izdat@abiturcenter.ru  
<http://www.abiturcenter.ru>

Гигиенический сертификат № 77.99.2.925.П.91.39.2.00 от 24.02.2000  
Налоговые льготы – Общероссийский классификатор продукции  
ОК-005-93, том 1 - 953000

Подписано к печати 19.07.2002г. Формат 60х90/8  
Бумага офсетная № 2. Усл. печ. л. 0,88  
Тираж 50 экз. Заказ № 330

Отпечатано в Мини-типографии УНЦДО  
в полном соответствии с качеством  
представленного оригинал-макета