

Применение камеры K008 в нестационарной спектроскопии

В.Б. Лебедев^а, Г.Г. Фельдман^а, А.В. Савельев^б, И. Бугар^б,

Д. Хорват(младший)^б

^а ВНИИОФИ, Компания БИФО; ^б Международный лазерный центр МГУ им. М.В. Ломоносова;

^б Международный лазерный центр «Братислава» (Республика Словакия)

Введение

С августа 2003 года камера K008 /1,2/, состыкованная с изображающим монохроматором/спектрографом MS3504i /3/, используется в Международном лазерном центре в Братиславе (Словакия) при проведении исследований в области нестационарной спектроскопии, в частности, при исследовании процессов флуоресценции в различных красителях. При вводе в эксплуатацию предварительно было проверено предельное временное разрешение камеры, составившее 20пс. Далее приводятся результаты пробных экспериментов по исследованию динамики флуоресценции красителя «Родамина-В».

Испытания камеры и первые результаты пробных экспериментов

В результате указанной стыковки, осуществлённой компанией БИФО совместно с Международным лазерным центром Московского Государственного университета, получился новый прибор, названный изображающим времяанализирующим монохроматором/спектрографом SVA- 01 /4/ (рис.1).



Рис.1. Внешний вид изображающего времяанализирующего монохроматора/спектрографа SVA-01.

Основные параметры нового прибора приведены в таблице.

Таблица

NN	Наименование параметров и их размерность	Величина параметра
1	2	3
1	Спектральный диапазон (определяется диапазоном спектральной чувствительности ЭОП), нм	$\leq 400 - \geq 800$
2	Обратная линейная дисперсия, нм/мм	2,37
3	Спектральное разрешение, нм	0,08
4	Шаг перестройки длины волны, нм	0,01
5	Размер кадра на катоде ЭОП, мм x мм, не менее	12,5×12,5
6	Длительность кадра: от, нс до, мкс	8-12 600-660
7	Максимальная длина изображения щели на катоде ЭОП, мм	$\geq 12,5$
8	Эффективная длина трассы развёртки на экране ЭОП, мм	18-21
9	Коэффициент линейной развёртки на экране ЭОП: от, нс/см до, мкс/см	1 300
10	Пространственное разрешение на фотокатоде ЭОП, п.л./мм	≥ 10
11	Временное разрешение камеры K008 при ширине щели 0,05 мм: от, пс до, мкс	20 на диап. 1нс/см 6 на диап. 300мкс/см

Управляемый дистанционно монохроматор/спектрограф MS3504i позволяет выделять либо интересующий исследователя спектральный диапазон, либо выбирать необходимую для анализа спектральную линию. Камера K008 осуществляет временную развёртку изображения спектра с необходимым временным разрешением, записывает развёрнутое изображение с помощью ПЗС телекамеры и вводит его в компьютер. В результате анализа этого изображения можно получить временной и пространственный (спектральный) профиль интенсивности регистрируемого излучения для выбранного спектрального диапазона, профили нескольких спектральных компонент или отдельной спектральной линии и измерить длительность регистрируемого излучения на любом уровне его интенсивности.

Для повышения точности измерения пространственных (спектральных) и временных интервалов, а также относительных интенсивностей входных сигналов в обоих режимах работы камеры с помощью её программного обеспечения проведена коррекция всех геометрических и фотометрических искажений, включая свет-сигнальные характеристики и нелинейность развёртки. В результате коррекции геометрические дисторсии уменьшены с

4%_{max} до не более 1%, нелинейность развёртки с 10%_{max} до не более 2%. В результате коррекции фотометрических искажений неоднородность коэффициента преобразования по полю изображения уменьшена с 30%_{max} до не более 5%.

Возбуждение красителей в Международном лазерном центре в Братиславе может производиться лазерными импульсами фемто-пико и наносекундной длительности различной длины волны. При вводе прибора SVA-01 в эксплуатацию предварительно отдельно было проверено предельное временное разрешение камеры K008. Для этого на щель камеры шириной 50мкм было направлено излучение Ti:Al₂O₃ лазера, генерировавшего непрерывную последовательность фемтосекундных импульсов на длине волны 800нм. Период следования импульсов составлял 12,5нс (рис.2), длительность одиночного импульса, измеренная автокоррелятором, составляла 60фс.

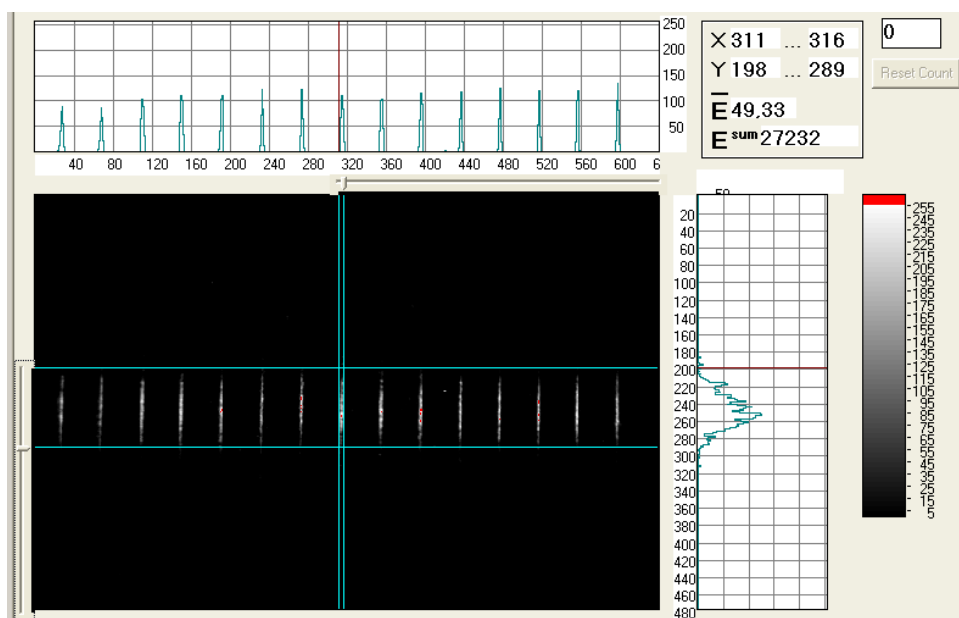


Рис.2. Последовательность импульсов фемтосекундного лазера, развёртка 100нс/см.

На рис.3 показан отклик камеры на входной 60-ти фемтосекундный импульс. Полуширина этого отклика, представляющего собой предельное временное разрешение камеры (или её временную аппаратную функцию) на длине волны 800нм, составила 20пс.

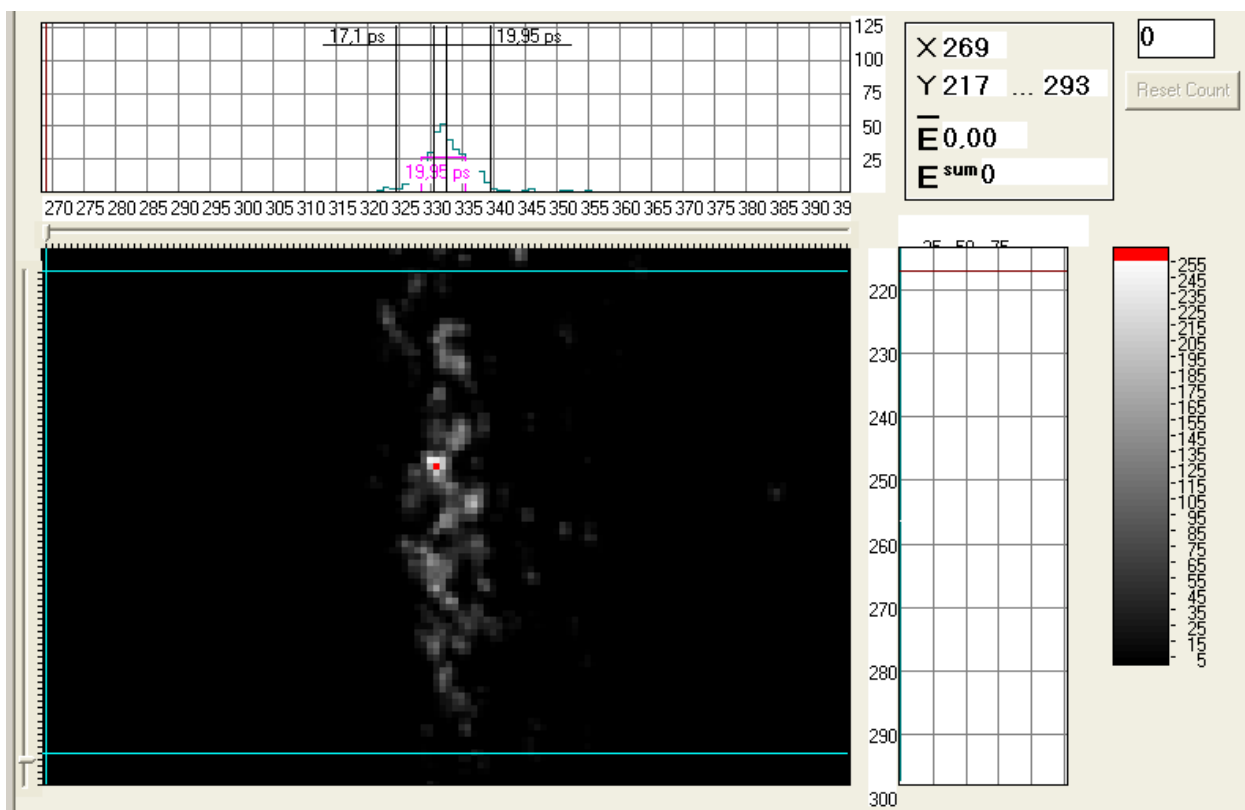


Рис.3. Временная аппаратная функция камеры K008 на $\lambda = 800\text{nm}$, развёртка 1нс/см.

Предельное временное разрешение t_0 нового прибора SVA-01 определяется двумя независимыми величинами – предельным временным разрешением t_1 камеры K008 и предельным временным разрешением t_2 монохроматора/спектрографа MS 3504i и поэтому может быть рассчитано по известной формуле: $t_0 = \sqrt{t_1^2 + t_2^2}$.

Предельное временное разрешение t_1 камеры K008 зависит от длины волны регистрируемого излучения, так как в камере используется ЭОП без ускоряющей сетки у фотокатода. В результате этого напряженность электрического поля у фотокатода недостаточна для того, чтобы обеспечить предельное временное разрешение 20пс во всём диапазоне спектральной чувствительности ЭОП. При испытаниях камеры K008 в Международном лазерном центре Московского Государственного Университета её предельное временное разрешение составило 20пс на длине волны 800нм, 53пс на длине волны 616нм, и 93пс на длине волны 400нм.

В отношении предельного временного разрешения t_2 монохроматора/спектрографа MS3504i (максимального затягивания длительности импульсов регистрируемого излучения) нужно заметить следующее. Оно определяется максимальной разностью хода лучей в этом приборе и также зависит от длины волны регистрируемого излучения. При заполнении излучением всей длины дифракционной решётки оно может быть по максимуму возможной величины оценено по формуле: $t_{2\text{max}} = \lambda L / c$, где λ – длина волны, L – полная длина дифракционной решётки (70мм), c – скорость

света, d – постоянная дифракционной решётки (833нм). Заполнение регистрируемым излучением всей длины дифракционной решётки возможно в том случае, когда источник этого излучения (объект исследования) помещён вплотную к входной щели прибора и излучает в достаточно широком угле. Таким источником, к примеру, является флуоресцентное излучение красителей. При этом кювета с красителем должна находиться на входной щели прибора. Для этого случая величина $t_{2\max}$ на указанных выше длинах волн 800, 616 и 400нм составляет соответственно 224, 173 и 112пс.

Оценка $t_{0\max}$ для прибора SVA-01 по формуле для t_0 с учётом указанных выше цифр, измеренных для K008 и рассчитанных для MS 3504i, даёт следующие результаты: 225пс на длине волны 800нм, 181пс на длине волны 616нм и 146пс на длине волны 400нм.

В случае малой расходимости регистрируемого излучения (коллимированные пучки или непосредственное излучение лазеров, кроме полупроводниковых), будет задействована не вся длина дифракционной решётки. При этом затягивание будет меньше (пропорционально l/L , где l – задействованная длина решётки). Однако нужно иметь ввиду, что при этом и спектральное разрешение прибора будет меньше.

Измерение реального предельного временного разрешения прибора SVA-01 пока не проводилось в связи с тем, что первоочередные интересы учёных Международного лазерного центра в Братиславе лежат пока что в наносекундном диапазоне времени.

В качестве одного из примеров исследований флуоресценции можно привести результаты измерения времени жизни флуоресценции раствора «Родамина В» в этаноле. Для возбуждения раствора использовалась вторая гармоника излучения неодимового лазера с модулируемой добротностью (длина волны 532нм, полуширина возбуждающего импульса $t_{ex} = 9,91$ нс, см. рис.4).

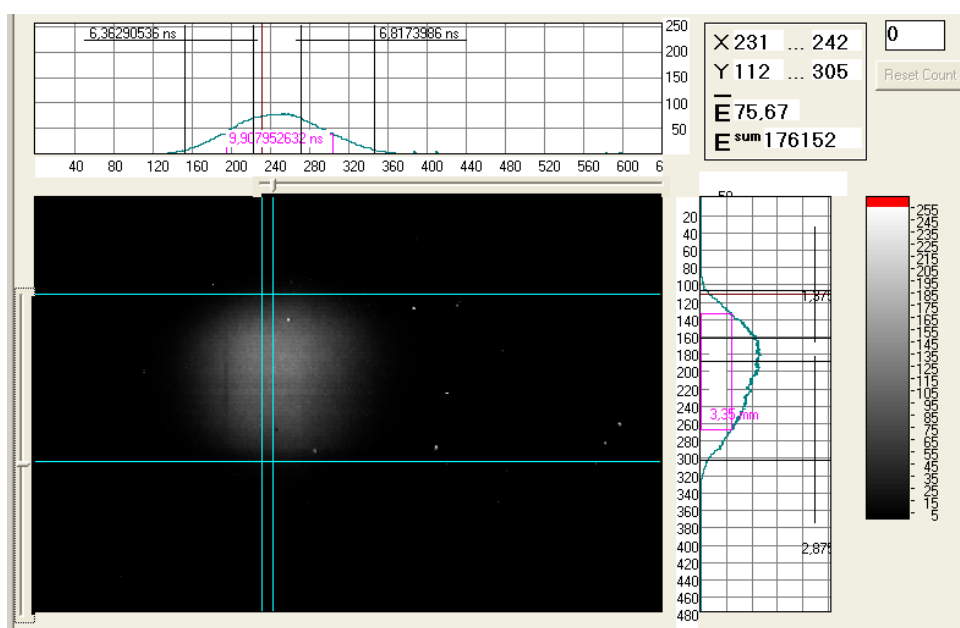


Рис.4. Временной профиль возбуждающего импульса, развёртка 30нс/см.

Регистрация динамики флуоресценции проводилась на длине волны 585нм (рис.5).

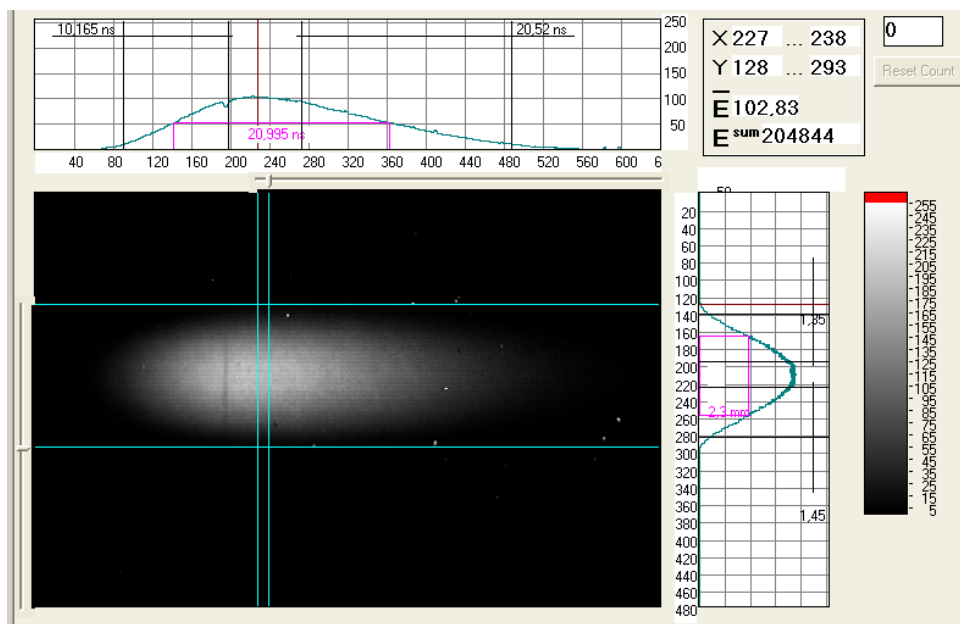


Рис.5. Временной профиль люминесценции раствора «Родамина В» в этаноле, развёртка 30нс/см.

Полуширина импульса t на рис.5 составляет 21нс. В связи с тем, что t_{ex} не является бесконечно малой величиной по сравнению с t , время жизни флуоресценции t_{fl} «Родамина В» может быть определено по формуле:

$t_{fl} = \sqrt{t^2 - t_{ex}^2}$. В результате вычислений получаем $t_{fl} = 18,52$ нс.

Заключение

Авторы выражают благодарность А.А. Жарикову, Г.Н. Нартову, М.А. Карпову и И.В. Головнину, принимавшим творческое участие в стыковке камеры K008 с монохроматором/спектрографом MS 3504i, а также Е.Е. Мухину за полезные консультации по спектральным приборам.

Литература

1. V.B. Lebedev, G.G. Feldman, Super small single streak and single frame image converter camera, SPIE, Vol. 3516, pp. 85-91.
2. K008 Streak and Uniframe Camera, [http: www.bifocompany.com](http://www.bifocompany.com)
3. Imaging Monochromator- Spectrograph MS 3504i, [http: www.solartii.com](http://www.solartii.com)
4. SVA-01 Temporal analyzing Monochromator- Spectrograph, [http: www.bifocompany.com](http://www.bifocompany.com)