

## СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ФЛУОРИМЕТРА

О.А. Анисимов, С.В. Анищик, В.И. Боровков, В.И. Иванников, Ю.Н. Молин, Ю.Д. Черноусов, И.В. Шеболаев  
 Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090 Новосибирск, Россия

Описаны резонатор и импульсный сверхвысокочастотный (2.45 ГГц) генератор. Система работает с частотой повторения 40 кГц и длительностью импульсов 900 нс. При импульсной мощности на входе резонатора 150 Вт, вращающаяся компонента магнитной индукции в образце составляет 1.2 мТл.

Импульсный рентгеновский флуориметр [1] является эффективным средством изучения первичных процессов, возникающих в веществе под действием рентгеновского излучения. На флуориметре проведен ряд исследований по кинетике рекомбинационной люминесценции в постоянных магнитном и электрическом полях [2,3]. Наложение на образец дополнительно к постоянному переменного сверхвысокочастотного (с.в.ч.) магнитного поля позволяет исследовать влияние на кинетику индуцированных с.в.ч. полей переходов между спиновыми состояниями. Возникающие при этом эффекты рассмотрены теоретически в работе [4]. Для влияния на процесс рекомбинации с.в.ч. магнитное поле должно иметь компоненту с круговой поляризацией в плоскости, перпендикулярной постоянному магнитному полю и частотой вращения близкой к частоте прецессии спинов ион-радикалов. В настоящей работе описана с.в.ч. система, создающая в образце переменное магнитное поле, необходимое для экспериментального наблюдения вышеупомянутых эффектов.

В процессе эксперимента исследуемый образец периодически облучают короткими (2 нс) импульсами рентгеновского излучения. Рекомбинация образовавшихся ион-радикальных пар сопровождается излучением света. Регистрация кинетики люминесценции ведется в режиме счета отдельных фотонов с накоплением результатов от большого числа измерений. Для лучшего наблюдения эффектов, связанных с влиянием с.в.ч. поля, свет от образца регистрируется попеременно с с.в.ч. полем и без него. Эффект выделяется в виде функции

$$F(t) = I_E(t)/I_0(t) - 1,$$

где  $I_E(t)$  — интенсивность света в с.в.ч. поле,  $I_0(t)$  — интенсивность света без с.в.ч. поля. Для достижения приемлемого времени накопления (до часа) система работает с частотой следования рентгеновских импульсов 80 кГц.

Как правило, в качестве образцов используются неполярные растворы, находящиеся в тонкостенных кварцевых пробирках цилиндрической формы с внутренним диаметром 9 мм. Объем образцов (1 – 1.5 см<sup>3</sup>) ограничен снизу из-за их слабой светимости. Исходя из требований к пространственной однородности поля в образце была выбрана достаточно низкая стандартная рабочая частота

2.45 ГГц.

Переменное магнитное поле создается в медном резонаторе прямоугольной формы, работающем на типе колебаний  $H_{102}$  (рис. 1). Два дополнительных прямоугольных выступа 1 служат для концентрации поля в области образца 2, находящегося в центре резонатора. Для повышения пространственной однородности магнитное поле концентрируется в прямоугольной области размерами  $10 \times 15 \times 40$  мм<sup>3</sup>, превышающей размеры образца, который удерживается на кварцевом световоде 3 фторопластовым фиксатором 4. Связь резонатора с подводщей коаксиальной линией осуществляется петлей 5. Кроме того, для контроля амплитуды и формы огибающей с.в.ч. импульса в резонатор помещен петлевой зонд со встроенным диодом 6. Корпус резонатора изготовлен из отрезка стандартного волновода сечением  $90 \times 10$  мм<sup>2</sup> и длиной 90 мм. Для облучения образца рентгеновскими импульсами в стенке резонатора прорезаны 11 узких щелей 7 размерами  $8 \times 1$  мм<sup>2</sup>, ориентированных вдоль линий с.в.ч. тока. Толщина перемычек между соседними щелями составляет 0.25 мм, что обеспечивает высокую прозрачность стенки для рентгеновского излучения без искажения с.в.ч. поля внутри резонатора.

Наличие выступов приближает данный резонатор по характеристикам и структуре полей к резонаторам типа "петля-щель"[5]. Величина магнитной индукции в центре резонатора может быть определена по приближенной формуле:

$$B = \frac{4}{1+k} \sqrt{\frac{kP\mu_0}{\delta\omega_0lh}},$$

где  $k$  — коэффициент связи резонатора с подводщей линией,  $P$  — мощность на входе резонатора,  $\mu_0$  — магнитная проницаемость вакуума,  $\delta$  — толщина скин-слоя,  $\omega_0$  — резонансная частота,  $l$  — периметр области магнитного поля,  $h$  — ее длина. Для данного резонатора отношение  $B/\sqrt{P} = 2.45 \times 10^{-4}$  Тл/ $\sqrt{Вт}$ . Компонента индукции с круговой поляризацией имеет вдвое меньшую величину. Это составляет 0.8 от аналогичной величины в резонаторе типа "петля-щель" с круглой петлей  $\varnothing$  10 мм, оптимальном для получения максимального поля.

Расчетное значение собственной добротности резона-

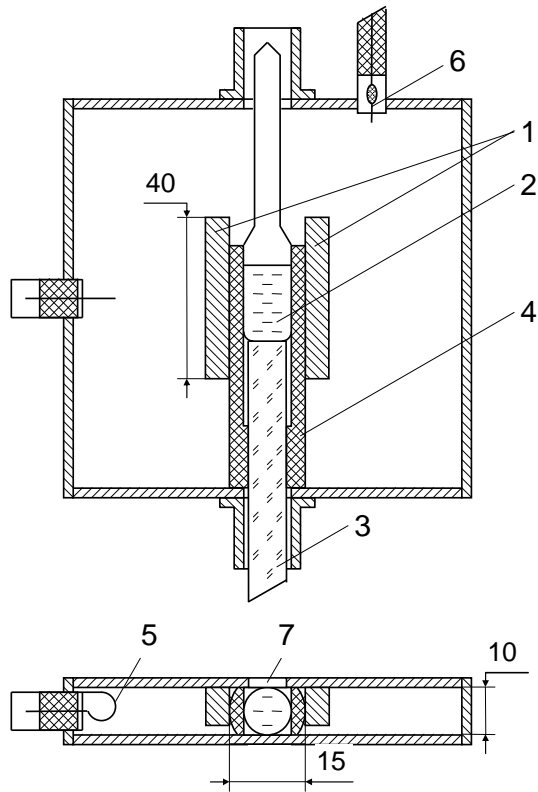


Рис. 1. Резонатор. 1 — выступы, 2 — образец, 3 — световод, 4 — фиксатор, 5 — петля связи, 6 — зонд, 7 — щели

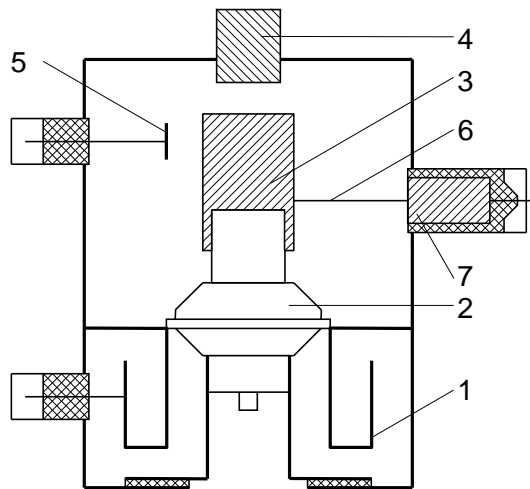


Рис. 2. Усилитель мощности. 1 — катодный резонатор, 2 — триод ГИ-25, 3 — наконечник анода, 4 — подвижный поршень, 5 — емкостной зонд, 6 — проводник анодного питания, 7 — дроссельная развязка

тора равно 4600, измеренное — 4000. Для уменьшения времени установления колебаний резонатор пересвязан так, что  $k = 6$ . Разброс значений частоты резонатора при замене образцов  $\leq 10$  МГц и компенсируется настройкой генератора. Для температурной стабилизации образец и

резонатор обдуваются изнутри потоком воздуха постоянной температуры.

С.в.ч. мощность в резонатор подается с выхода специально разработанного импульсного генератора. Он состоит из стандартного задающего генератора типа Г4-79 и включенных последовательно предварительного усилителя, усилителя-формирователя и усилителя мощности.

В качестве предварительного усилителя используется твердотельный модуль М42144, работающий в непрерывном режиме. Его коэффициент усиления достигает 40 дБ, а значение выходной мощности — 1 Вт. Регулировка уровня выходной мощности осуществляется изменением напряжения смещения в пределах от 1 до 5 В или изменением величины входной мощности.

Усилитель - формирователь состоит из двух включенных последовательно ламповых модулей 1УИ02. Он обеспечивает формирование и усиление с.в.ч. импульсов длительностью 900 нс с фронтами короче 50 нс. Частота следования импульсов равна 40 кГц. Управление режимом работы ламп производится путем коммутации напряжения смещения катодов относительно сеток (по питанию лампы включены параллельно). Анодное напряжение выбрано из условия рассеяния каждой лампой паспортной средней мощности 2 Вт и при заданных параметрах импульсов составляет 350 В. При этом импульсная мощность на выходе второго модуля достигает 40 Вт. Конструкция усилителя-формирователя допускает регулировку длительности и частоты повторения импульсов в широких пределах при условии ограничения средней мощности, рассеянной лампами.

Усилитель мощности (рис. 2) выполнен на триоде ГИ-25. Катодный резонатор 1 имеет кондуктивную связь с подводющей линией и для уменьшения габаритов дважды свернут по длине и радиусу. Для облегчения подвода анодного напряжения к лампе 2 и упрощения перестройки частоты в усилителе используется двухзаярный анодный резонатор. Первым зазором резонатора является промежуток сетка-анод лампы. Второй зазор образован наконечником анода 3 и подвижным поршнем 4. Он служит для перестройки частоты резонатора. Связь анодного резонатора с выходной линией осуществляется емкостным зондом 5. Проводник анодного питания 6 проходит через область нулевого с.в.ч. электрического поля. Дроссельная развязка 7 подавляет излучение из резонатора через разъем анодного питания. Анодное напряжение выбрано из условия рассеяния лампой максимально допустимой средней мощности 10 Вт и равно 800 В. Импульсная мощность на выходе усилителя достигает 200 Вт. Для повышения стабильности работы усилителя мощности между ним и резонатором включен ферритовый вентиль. При этом максимальная импульсная мощность на входе резонатора составляет 150 Вт. На рис. 3 приведен эффект влияния с.в.ч. поля на кинетику комбинационной люминесценции раствора, содержащего  $3 \times 10^{-5}$  моль/литр *para*-терфенила и  $5 \times 10^{-1}$  моль/литр *изо*-октана в *n*-гексане. Эффект проявляется в уменьше-

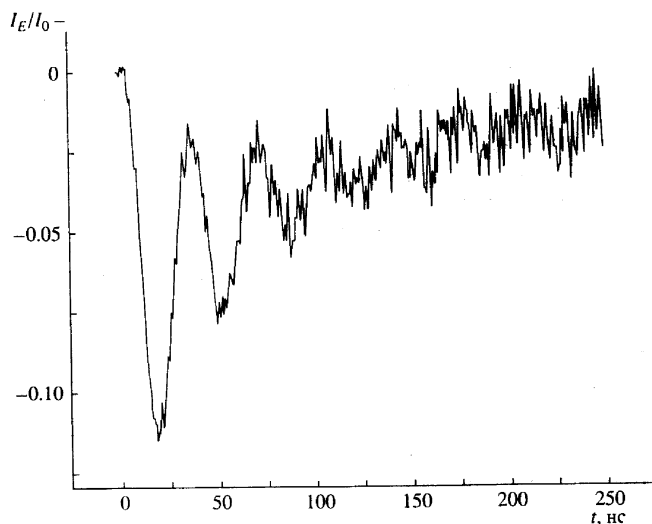


Рис. 3. Эффект влияния с.в.ч. поля на кинетику рекомбинационной люминесценции раствора, содержащего  $3 \times 10^{-5}$  моль/литр паратерфенила и  $5 \times 10^{-1}$  моль/литр изооктана в н-гексане

нии интенсивности излучения (кривая проходит ниже нулевой линии) и появлении квантовых биений.

Таким образом, рассмотренная система обеспечи-

вает в образце с.в.ч. магнитное поле, импульсно-модулированное с частотой 40 кГц. Значение вращающейся компоненты магнитной индукции, измеренное по эффекту квантовых биений, достигает 1.2 мТл. Длительность плоской вершины импульса составляет 500 нс. Импульсный рентгеновский флуориметр с разработанной системой позволяет изучать эффекты с.в.ч.-поля в кинетике рекомбинационной люминесценции неполярных растворов.

Авторы признательны В.В. Перову за проведение независимых измерений характеристик резонатора.

- 
- [1] Анищик С.В., Григорянц В.М., Шеболаев И.В. и др. // ПТЭ. 1989. № 4. С. 74.  
 [2] Anishchik S.V., Usov O.M., Anisimov O.A., Molin Yu.N. // Radiat. Phys. Chem. 1998. V. 51. P. 31.  
 [3] Borovkov V.I., Anishchik S.V., Anisimov O.A. // Chem. Phys. Lett. 1997. V. 270. P. 327.  
 [4] Salikhov K.M., Molin Yu.N. // J. Phys. Chem. 1993. V. 97. P. 13259.  
 [5] Громов И.А., Орлинский С.Б., Рахматуллин Р.М. // ПТЭ. 1991. №5. С. 113.