

93-399



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-93-399

С.Е.Васильев, Д.Е.Донец, Ю.В.Заневский,
А.Б.Иванов, Л.П.Смыков, Г.А.Черемухина,
С.П.Черненко

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ
ДЕТЕКТОР РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ
БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

1993

1. ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории высоких энергий создан ряд установок на основе одномерного позиционно-чувствительного детектора рентгеновского излучения [1,2]. Детектор предназначен для регистрации рентгеновских γ -квантов в диапазоне энергий 8+20 кэВ с одновременным определением координаты точки конверсии γ -кванта внутри чувствительного объема детектора. Установка одномерного детектора позволяет получать рентгенограммы различных динамических процессов и представлять их в графическом виде на экране монитора, а также изучать структуру вещества в условиях высоких температур и давлений. Установка на основе одномерного детектора работает на линии с ПК IBM AT стандартной конфигурации.

2. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДЕТЕКТОРА

Конструктивно детектор представляет собой герметичный бокс с входным окном из Ве (рис.1), заполненный ксенон-метановой смесью под давлением несколько атмосфер. Внутри бокса расположена многопроволочная пропорциональная камера с шагом намотки анодной проволоки (диаметр 15 мкм) — 3 мм. Верхним катодом служит входное окно из Ве толщиной 1,3 мм, а нижним — линия задержки (ЛЗ) в виде спирали, используемая для получения координатной информации. На задней стороне детектора размещены устройство для диффузионной очистки рабочей смеси, предусилители для съема сигналов с анода и ЛЗ, разъемы питания предусилителей, высокого напряжения и выходные сигнальные разъемы предусилителей.

Принцип действия детектора основан на эффекте газового усиления первоначального количества вторичных электронов, образовавшихся в газовом объеме детектора в результате взаимодействия рентгеновского кванта с атомами рабочего газа. Рентгеновский квант, попав в чувствительный газовый объем через входное окно, в результате фотоэффекта конвертируется в облако вторичных электронов со средней энергией в несколько электронвольт и под действием электрического поля, возникающего при подаче высокого напряжения на анод камеры, дрейфует к анодной проволочке. На расстоянии нескольких диаметров проволочки от нее начинается процесс

Таблица. Основные параметры линейного детектора

Чувствительная площадь, мм ²	20x100
Толщина входного окна из Ве, мм	1,3
Расстояние анод—катод, мм	5
Состав рабочего газа	Xe—CH ₄ (90—10)
Давление газа в детекторе, атм (абсол.)	3,7—3,8
Эффективность регистрации рентгеновских квантов с энергией, %:	
8 кэВ	82
10 кэВ	84
15 кэВ	62
20 кэВ	37
Энергетическое разрешение на линии 6 кэВ, %, не хуже	25
Число каналов регистрации	1000
Глубина ячейки памяти	2 ¹⁶
Дифференциальная неоднородность эффективности регистрации, %	<2
Интегральная неоднородность, %	<1
Пространственное разрешение, мкм	180—200
Количество просчетов при загрузке 200 кГц, %	40
Локальные загрузки на канал, Гц, не более	10,000
Смещение центра тяжести пика координатного распределения при фоновой загрузке 300,000 имп./с	0,1 канал
Время экспозиции, с	10 ⁻² —10 ⁴
Минимальное время паузы, с	0,1
Количество кадров	100
Шумы детектора, имп./кан./мин, не более	15·10 ⁻³

газового усиления, в результате которого электроны быстро собираются на проволочке, в то время как положительные ионы (в основном Хе) медленно дрейфуют к катодам камеры. Во время дрейфа ионов на ЛЗ наводится индуцированный сигнал положительной полярности, который начинает распространяться по ЛЗ в обе стороны. По разнице во времени прихода сигнала к противоположным концам можно определить координату точки конверсии рентгеновского кванта. Анодный сигнал в дальнейшем используется для выработки триггерного сигнала и для определения энергетического разрешения детектора, которое в свою очередь зависит не только от технологии изготовления детектора, но и от чистоты рабочей газовой смеси. Для непрерывной очистки газовой смеси применяется специальный адсорбент [3],

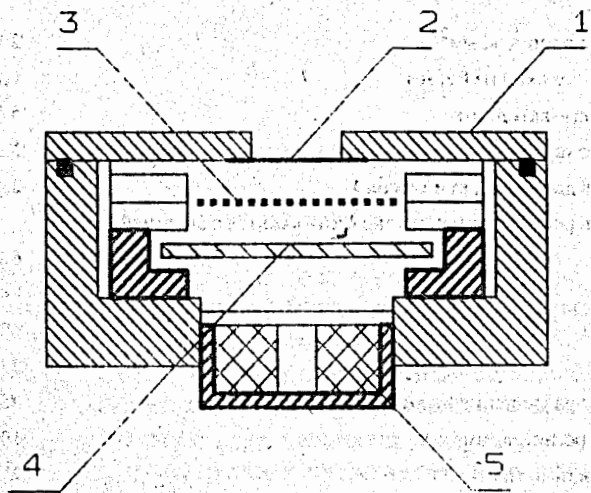


Рис.1. Конструкция детектора: 1 — бокс; 2 — входное окно; 3 — анодная плоскость; 4 — линия задержки (ЛЗ); 5 — адсорбент Ni/SiO₂

расположенный в устройстве очистки газа, которое позволяет производить ремонтные операции или смену газа без порчи адсорбента. Основные параметры детектора представлены в таблице.

3. ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Электроника, разработанная специально для создания одномерных и двумерных детекторов состоит из следующих основных частей (рис.2): электроники считывания, регистрации и связи с компьютером.

Электроника считывания включает в себя предусилитель, установленный в боксе детектора, усилитель в стандарте КАМАК и дискриминатор со следящим порогом (ДСП) [4]. Считывание сигналов производится с обоих концов ЛЗ, что позволяет получить вдвое лучшее пространственное разрешение при неизменном временном, т.е. при сохранении максимальной скорости счета.

Основные параметры электроники считывания:

— предусилитель: $K_u = 20$; $t_{\Phi} = 10$ нс; $\sqrt{u_{ш}^2} = 10$ мкВ;

— усилитель: $K_u = 50+100$;

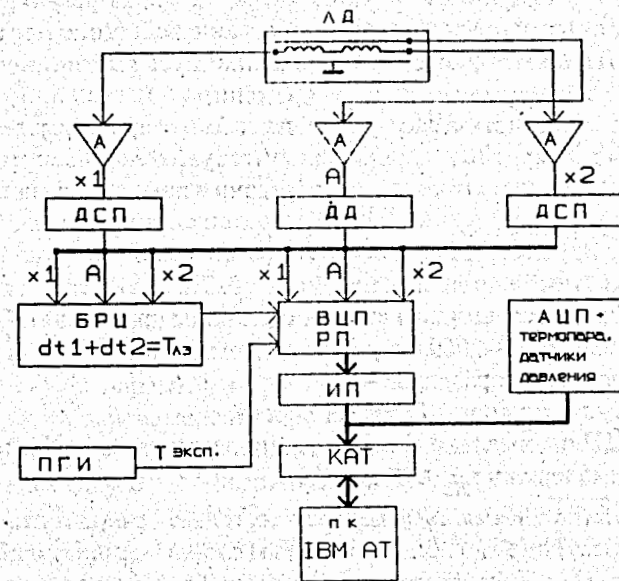


Рис.2. Блок-схема электронной аппаратуры: ЛД — линейный детектор; А — усилитель; ДСП — дискриминатор со следящим порогом; ДД — дифференциальный дискриминатор; БЦ — блок цифрового отбора; ВЦП — время-цифровой преобразователь; РП — разравнивающая память; ИП — инкрементная память; АЦП — амплитудно-цифровой преобразователь; ПГИ — программируемый генератор импульсов; КАТ — драйвер ветви КАМАК

— дискриминатор: собственный джиттер $< 0,1$ нс в динамическом диапазоне $1+10$.

При максимальном затухании сигналов с ЛЗ $\sim 20\%$ данная аппаратура обеспечивает временную привязку $\sim 0,8$ нс (FWHM).

Электроника регистрации состоит из время-цифрового преобразователя и инкрементной памяти.

Время-цифровой преобразователь (ВЦП), разработанный для создания позиционно-чувствительных детекторов со съемом информации с помощью ЛЗ содержит:

- схему прецизионного быстрого кодирования интервалов между сигналами «старт» и «стоп»;
- узел отбора «хороших» событий, т.е. таких, в которых по каждому из сигнальных трактов поступает одно и только одно событие;
- узлы синхронизации работы ВЦП со входными сигналами и работой инкрементной памяти;

г) разравнивающую память (3 регистра), которая регулирует поток оцифрованных данных и позволяет устранить влияние мертвого времени на просчеты событий, которые могут возникнуть вследствие статистического характера входных сигналов во времени;

д) быстрое арифметическое устройство, благодаря которому на выходе ВЦП (разъем на передней панели) присутствует обыкновенный двоичный код, непосредственно пригодный для передачи в память для гистограммирования.

Основные параметры ВЦП:

- эффективный шаг дискретизации — 0,5 нс
- неоднородность ширины канала (среднеквадратичная) — $< 0,5 \%$
- мертвое время — < 50 нс
- число двоичных разрядов — 11
- имеется возможность быстрого сброса.

Подобный ВЦП оптимально решает задачи регистрации событий до значений погонной задержки $\tau_{ЛЗ} \geq 1+2$ нс/мм.

Инкрементная память (ИП) осуществляет инкрементацию на «1» ячейки по адресу, определяемому входным словом (данные с ВЦП). Время инкрементации не превышает 0,5 мкс, что позволяет проводить набор данных при загрузках до 2 МГц (с учетом наличия разравнивающей памяти в ВЦП). Остановка накопления происходит в случае: 1) переполнения ячейки памяти ($> 2^{16}-1$), при этом устанавливается единица в соответствующем бите статусного регистра и сигнал $L = 1$; 2) по команде КАМАК и 3) по внешнему сигналу. Считывание данных производится по шинам КАМАК по команде F2 (чтение со сбросом), в результате чего после окончания считывания буфер подготовлен к приему новых событий. Последнее обстоятельство весьма полезно при использовании аппаратуры в режиме многокадровой съемки, где могут потребоваться малые паузы (> 0.01 с).

Дифференциальный дискриминатор (ДД) требуется при проведении различных экспериментов с газовыми линейными детекторами. Опыт эксплуатации таких устройств показал необходимость оперативного и точного значения амплитудного спектра анодных сигналов с детектора, а также той части спектра, которая используется для получения координатной информации. С учетом типового энергетического разрешения газовых проволочных детекторов в рабочей точке $\sim 20+30 \%$ вполне достаточным является использование АЦП с числом каналов 2^8 . Разработанный ДД базируется на быстрых АЦП параллельного кодирования (К1107 ПВЗ). Входной (анодный) сигнал кодируется и подается на два быстрых ЭСЛ компаратора. На вторые входы компараторов поступает информация о верхнем и нижнем порогах («цифровое окно»). Пороги задаются в десятичном коде переключателями на передней панели. Одновременно с отбором сигналов имеется

возможность накапливать спектр отобранных данных (выборки из потока) в компьютер. Таким образом можно оперативно изменять и наблюдать используемую для накопления гистограмм часть спектра.

Электроника связи с компьютером состоит из драйвера ветви КАМАК КАТ и адаптера, устанавливаемого на шине ПК.

Драйвер ветви КАМАК осуществляет связь с ПК IBM AT-286(386) по программному каналу и по каналу прямого доступа к памяти (КПДП). Данные из памяти считываются по КПДП одним массивом в память компьютера. В случае одномерного детектора драйвер ветви используется как контроллер крейта КАМАК (номер крейта = 2). Скорость передачи составляет 4 мкс/слово. Передача данных может производиться байтами и словами (2 байта). Длина линии связи с адаптером может достигать 10 м (передача по скрученным парам).

Запуск процесса измерения производится при достижении определенных (заранее заданных) значений температуры и давления, которые считываются 8-канальным 12-разрядным АЦП с датчиков, расположенных в исследуемом образце (рис.2). Сигналы с линейного детектора (анодный А и два катодных X1 и X2) поступают на вход линейных усилителей, и после усиления катодные сигналы подаются на входы дискриминаторов точной временной привязки ДСП, импульсы на выходе которых точно привязаны ко времени достижения максимального значения амплитуды соответствующих сигналов. Анодный сигнал подается на ДД, который «вырезает» заданное окно в амплитудном спектре анодных сигналов. Далее логические сигналы со всех дискриминаторов поступают в ВЦП и блок цифрового отбора БРЦ, в которых происходит отбор событий, удовлетворяющих следующим требованиям: а) наличие всех трех сигналов за разрешающее время $\sim T_{ЛЗ}$; б) сигналов должно быть не более трех; в) сумма времен прихода сигналов к противоположным концам ЛЗ должна быть равна постоянной величине, зависящей от параметров ЛЗ. Последнее условие проверяется БРЦ, кодирующим два интервала $dt1$ и $dt2$ между сигналом с анода и разных концов ЛЗ и определяющим выполнение равенства $dt1 + dt2 = T_{ЛЗ}$ с задаваемой оператором точностью ϵ (ϵ — ширина распределения $T_{\Sigma} = dt1 + dt2$). Если сигналы удовлетворяют условиям отбора, то на выходных шинах данных ВЦП появляется код, соответствующий координате точки конверсии рентгеновского кванта. После каждого события 10-разрядный двоичный код координаты передается в инкрементную память. ВЦП строится программируемым таймером ПГИ, который задает время экспозиции $T_{эксп}$. По истечении времени экспозиции накопленная информация передается с помощью КАТ в память ПК. Далее накопленные данные обрабатываются и представляются на экране монитора в виде гистограммы.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программное обеспечение (ПО) для одномерных детекторов имеет несколько модификаций в зависимости от прикладной задачи. Приводится описание самой полной версии, которая выполняет следующие функции:

- а) накопление и обработка одного кадра для определения работоспособности установки;
- б) накопление серии кадров и запись ее на диск;
- в) просмотривание, статистическая обработка кадров серии и, как результат просмотривания, отбор кадров и запись их на диск уже в виде серии отобранных кадров;
- г) масштабирование гистограммы (вертикальное и горизонтальное);
- д) эталонирование;
- е) цифровая обработка данных (улучшение однородности с помощью корректирующей матрицы);
- ж) тестирование управляющей электроники.

Для работы с ПО пользователю предоставляется меню оконного типа, содержащее следующие команды:

- **Preset** — предварительная установка параметров. В каждом конкретном применении число и название параметров может быть разным в зависимости от условий эксперимента.
- **Measurement** — режим измерения, включающий:
 - режим накопления одного кадра для проверки работоспособности установки;
 - режим накопления серии кадров с последующей записью на диск.

Режим накопления серии кадров может запускаться от таймера, а также от порогового значения показаний управляющего датчика температуры или давления. При этом задаются время экспозиции одного кадра серии и временная пауза между кадрами [5]. Результатом режима измерения является вывод одномерной гистограммы на экран монитора (рис.3).

- **Look** — режим просмотривания, отбора кадров и записи их на диск в виде новой серии, если это необходимо. При этом выбирается имя файла накопленной серии, задается имя файла серии отобранных кадров, номер кадра, с которого начнется просмотривание, номер кадра, которым заканчивается просмотривание и шаг просмотривания. Во время просмотривания на экран выводится по три кадра для удобства сравнения.

- **Calibration** — специальный режим эталонирования.
- **Test** — режим тестирования управляющей электроники, включающий тесты БРЦ, ДД и ИП.

Каждый кадр представляется на экране в виде одномерной гистограммы длиной 1024 канала (ось Y — интенсивность в каждом канале, ось X — номер канала, а в случае применения эталонирования добавляется калиб-

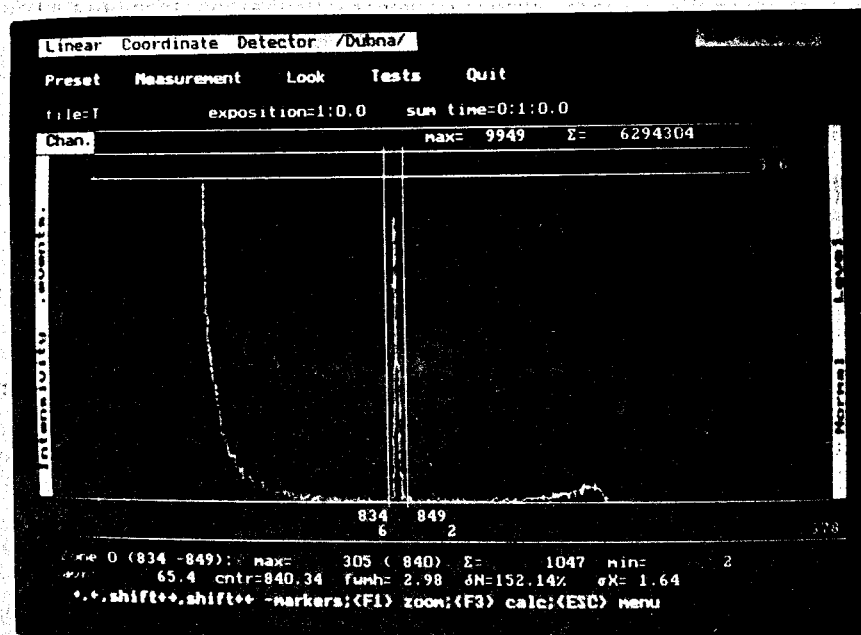


Рис.3. Вывод одномерной гистограммы на экран цветного монитора ПК

ровочная шкала (рис.3). В поле гистограммы есть два вертикальных маркера для выделения зоны интереса и один горизонтальный — для вертикального масштабирования. В указанной зоне интереса вычисляются максимальное и среднее число событий в канале, суммарное число событий, среднеквадратичные отклонения числа событий и координаты, центр тяжести пика и полуширина выраженного пика на полувысоте.

5. ПРИМЕНЕНИЕ

Установка подобного типа в настоящее время используется в ИСМ АН (г.Черноголовка). В лабораторных условиях в описанной установке на CuK_α -излучении при использовании мощности трубки 2,5 кВт проведена серия экспериментов по записи дифракционного кино с экспозицией 0,1 с и 1 с от горячей таблетки. В работах [6,7] представлены результаты съемки горения порошка титана на воздухе с экспозицией 1 с, которые доказывают успешное применение данной установки для динамической рентгенографии процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза,

что открывает новые перспективы исследования фазообразования в быстропотекающих реакциях.

Авторы благодарят Ю.Г.Федулова, Н.П.Волкова, М.Н.Михайлову, А.Е.Московского, В.А.Белякова за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заневский Ю.В. и др. — Препринт ОИЯИ ДЗ-88-602, Дубна, 1988.
2. Cheremukina G.A. et al. — Automatized One-Dimensional X-Ray Detector. *Isotopenpraxis*, GDR, 1990, No.26, p.11.
3. Заневский Ю.В., Пешехонов В.Д., Смыков Л.П. — ПТЭ, 1989, № 4.
4. Chernenko S.P. et al. — Parallax-Free 2-D X-Ray Detectors for Synchrotron Radiation Sources Developed at LHR, JINR. Proceedings of the European Workshop on X-Ray Detectors for Synchrotron Radiation Sources. Aussois, France, September 30 - October 4, 1991, p.82.
5. Васильев С.Е. — Препринт ОИЯИ Р13-87-608, Дубна, 1987.
6. Мержанов А.Г. и др. — Динамическая рентгенография фазообразования в процессе СВС. Доклады Академии Наук, 1993, т.328, № 1.
7. Khomenko I.O. et al. — Dynamics of Phase Forming Processes in the Combustion of Metal-Gas Systems. *Combustion and Flame*, USA, 1993, v.92, p.201.