

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА МНОГОСЛОЙНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

ГАЙСАК И. И., ГОРНОВ М. Г., ГУРОВ Ю. Б., ЛУКИН А. С., МОРОХОВ П. В., ОГАНЕСЯН К. О., ОСИПЕНКО Б. П., ПАСЮК Е. А., ПЕЧКУРОВ В. А., ПИЧУГИН А. П., ПОРОХОВОЙ С. Ю., РОЗОВ Б. С., САВЕЛЬЕВ В. П., СЕРГЕЕВ Ф. М., ХОМУТОВ А. А., ШАФИГУЛЛИН Р. Р.

Описана схема и электронная система автоматического сбора информации многослойного полупроводникового спектрометра, предназначенного для исследования поглощения пионов ядрами. Система осуществляет предварительный отбор событий, регистрацию спектрометрической информации и контроль состояния установки. Информация передается для окончательной обработки на э.в.м. ЕС-1030.

Одно из перспективных направлений развития экспериментальных методов в области физики промежуточных энергий связано с использованием многослойных полупроводниковых спектрометров. Возможности получения совершенствование технологии изготовления полупроводниковых детекторов позволяют уже в настоящее время использовать многослойные наборы полупроводниковых детекторов для спектрометрии частиц с энергией до сотен мегаэлектронвольт и энергетическим разрешением до 200 кэВ. Временное разрешение многослойных полупроводниковых спектрометров определяется использованием относительно тонких полупроводниковых детекторов, имеющих малое время собирания носителей. Высокие временные характеристики позволяют эффективно использовать сигналы с полупроводниковых детекторов для отбора событий. Так, для полупроводникового спектрометра, использованного на лучке пионов с энергией 300 МэВ, было получено временное разрешение 600 пс [1]. Важную роль в достижении высоких метрологических характеристик полупроводниковых спектрометров играет электронная система, являющаяся неотъемлемой частью установки и служащая для функционального преобразования и передачи информации, а также частично для целей управления. Принципиальной особенностью такой электронной системы является ее органическая связь с э.в.м. Спектрометр, э.в.м., электронная система, программное обеспечение образуют единую автоматизированную систему сбора и обработки информации, ориентированную на решение определенной физической проблемы. В статье описана установка для экспериментальных исследований процессов поглощения пионов ядрами, в которой энергия заряженных частиц измеряется с помощью многослойных полупроводниковых кремниевых телескопов [2].

Схема установки с использованием двухплечевой геометрии спектрометра показана на

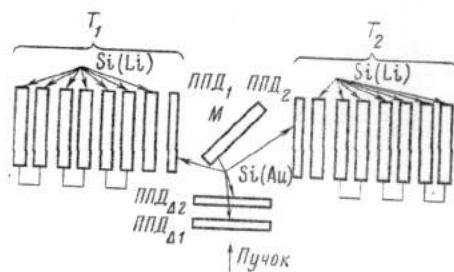


Рис. 1. Схема двухплечевого многослойного полупроводникового спектрометра

рис. 1. Основными элементами детектирующей части являются идентифицирующие мониторные детекторы $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$, мишень M , многослойные спектрометрирующие телескопы T_1 и T_2 . В качестве мониторных детекторов $ППД_{\Delta 1}$ и $ППД_{\Delta 2}$ и идентификаторов телескопов $ППД_1$ и $ППД_2$ использованы полупроводниковые $Si(Au)$ -детекторы толщиной 0,4 мм и диаметром чувствительной области 32 мм. Время собирания носителей заряда составляет ~ 120 нс. В качестве мишени в ряде экспериментов и для отработки методики используется активная мишень, выполненная в виде полупроводникового $Si(Au)$ -детектора. Это позволяет более надежно выделять события с поглощением пионов в мишени и выполнять нормировку на количество остановок. Основными элементами телескопов T_1 и T_2 являются дрейфовые полупроводниковые $Si(Li)$ -детекторы с диаметром чувствительной области 32 и толщиной 3,0 мм, полная толщина стопки детекторов 30 мм. Собственное энергетическое разрешение $Si(Li)$ -детекторов по электронам (источник ^{206}Bi) составляет ~ 26 кэВ. В настоящее время используется вариант телескопов, состоящих из восьми полупроводниковых детекторов каждый (первый идентификатор изготовлен из $Si(Au)$, остальные — из $Si(Li)$). Это позволяет измерять энергию по полному энергосодержанию для протонов с максимальной энергией до 77 МэВ, дейтронов до 104 МэВ, тритонов до 125 МэВ.

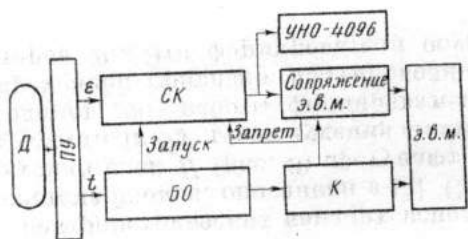


Рис. 2. Функциональная схема системы. Д — детекторы, ПУ — предусилитель, СК — спектрометрические каналы, БО — быстрый отбор, К — контроль системы, УНО-4096 — устройство накопления и обработки информации

Основные особенности работы электронной системы многослойного полупроводникового спектрометра связаны с большим количеством каналов регистрации, высокой точностью регистрации, работой при высоких нагрузках (высокой интенсивности). Электронная система спектрометра должна выполнять следующие функции: эффективный предварительный отбор событий, регистрацию многоканальной спектрометрической информации и контроль состояния установки. Эти функции определяют структуру электронной системы спектрометра (рис. 2). Основными элементами ее являются: линейка зарядочувствительных предусилителей ПУ, имеющих быстрый временной выход для организации логики предварительного отбора событий и линейный энергетический выход для ре-

гистрации энерговыделения в полупроводниковых детекторах; логическая система быстрого предварительного отбора БО конкретных событий, необходимых для исследования; линейка блоков регистрации спектрометрической информации СК, служащая для преобразования сигналов с полупроводниковых детекторов в цифровую форму для передачи в память э.в.м.; блоки связи с э.в.м., осуществляющие передачу спектрометрической и служебной информации в память э.в.м. для накопления и предварительной обработки; устройство накопления и обработки информации УНО-4096, служащее для калибровки спектрометрических каналов и контроля состояния системы. Накопление статистики и подготовка экспериментальных данных для окончательной обработки результатов осуществляется на э.в.м. ЕС-1030, работающей на линии с электронной системой спектрометра.

Блок-схема электронной системы многослойного полупроводникового спектрометра приведена на рис. 3. Система реализована на основе управляющей э.в.м. СМ-3 с интерфейсом «Общая шина», позволяющим осуществить сопряжение всех устройств системы, программно управляемых модулей в стандарте КАМАК и функциональных модулей быстрой логической электронной системы. Для осуществления связи с э.в.м. в системе использовались модули КАМАК, разработанные в Лаборатории ядер-

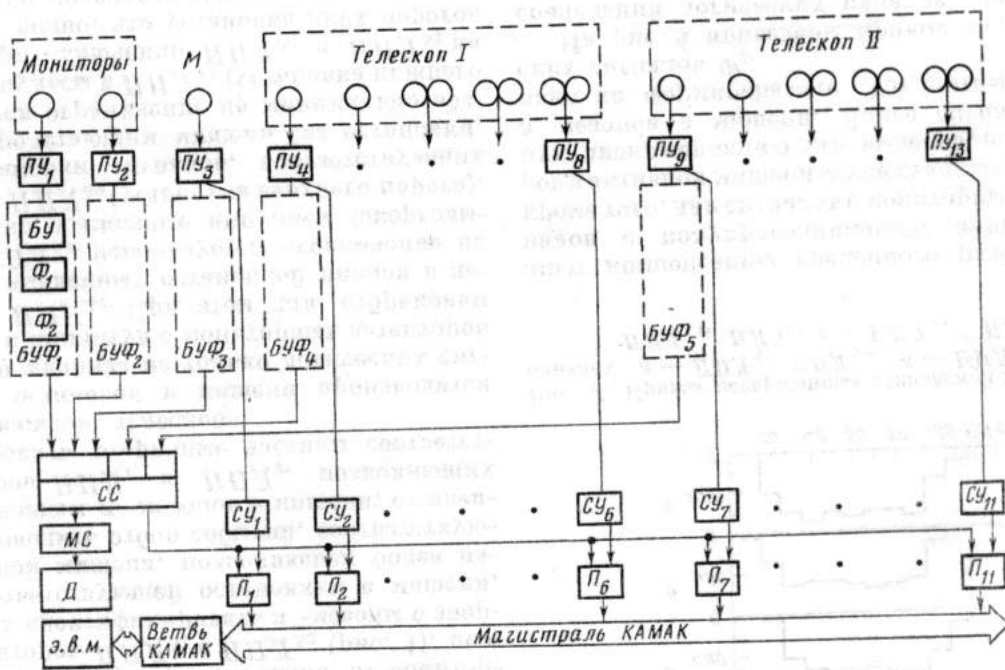


Рис. 3. Блок-схема электронной системы спектрометра. М — мишень, ПУ — предусилитель У203, Ф₁ — формирователь Ф205, Ф₂ — формирователь П213. БУ — быстрый усилитель У203, Ф₁ — формирователь Ф205, Ф₂ — формирователь П213. СС — схема совпадений 4СС7. МС — мультишкалер, Д — дисплей, мирователь 059. СУ — спектрометрический усилитель БУС2-97, П — преобразователь

ных проблем Объединенного института ядерных исследований [3].

В двухлучевой геометрии установки быстрый логический отбор событий осуществляется анализом следующих сигналов: от мониторинговых детекторов $ППД_{\Delta 1}$ и $ППД_{\Delta 2}$ (рис. 1), позволяющих идентифицировать π^- -мезоны с энергией, соответствующей остановкам в мишени; от активной мишени, позволяющей более надежно проводить отбор событий, соответствующих остановкам π^- -мезонов в мишени; от идентификаторов $ППД_1$ и $ППД_2$, позволяющих регистрировать вторичные частицы соответственно в каждом телескопе.

Отбор остановок в мишени производится с помощью анализа не только логических сигналов, но и амплитуд с мониторинговых детекторов $ППД_{\Delta 1}$ и $ППД_{\Delta 2}$. При этом для отбраковки сигналов, вызванных остановкой пионов в детекторе $ППД_{\Delta 2}$, используется ограничение на максимально возможные импульсы (энергосделения) в $ППД_{\Delta 2}$ (установка верхнего порога). Для отбраковки сигналов, соответствующих пионам, пролетающим мишень без остановки, используется ограничение на минимально возможные импульсы в $ППД_{\Delta 1}$ (установка нижнего порога). При включении $ППД_{\Delta 1}$ и $ППД_{\Delta 2}$ на совпадение видно, что установка двух порогов одновременно позволяет выделить пион с остаточным пробегом, соответствующим остановке пиона в мишени.

Отбор заданных событий, соответствующих реакциям поглощения π^- -мезонов в мишени, а также контроль эффективности регистрации осуществляются на основе логических совпадений:

- 1) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$;
- 2) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$; M ;
- 3) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$, M , T_1 ;
- 4) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$, M , T_2 ;
- 5) двойные совпадения $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$, M , T_1 , T_2 .

С целью получения лучшего временного разрешения логической системы быстрого отбора событий используются сигналы с быстрых (временных) выходов предусилителей с последующим формированием логических сигналов временной привязки. Формирование логических сигналов временной привязки осуществлялось идентичными каналами, реализованными на основе линейки блоков наносекундной логики [4].

В спектрометрических каналах использовалась система блоков, описанная в [5]. Сигналы с предусилителей P (рис. 3) поступают на быстрые усилители $БУ$ для получения амплитуды, необходимой для работы формирователя точной временной привязки полупроводниковых детекторов Φ_1 . Эти формирователи осуществ-

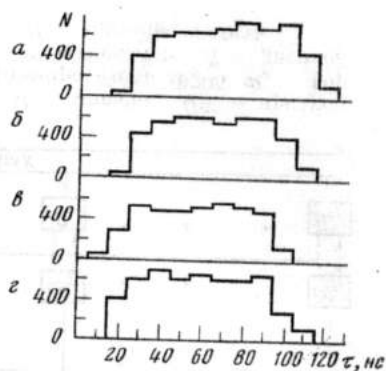


Рис. 4. Кривые задержанных совпадений в логических каналах: а — $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$; б — $ППД_{\Delta 1}$, M ; в — $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_1$; г — $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_2$

ляют компенсацию временного разброса сигналов с полупроводниковых детекторов и, кроме того, для сигналов с мониторинговых детекторов и активной мишени осуществляют амплитудную дискриминацию для выделения остановок π^- -мезонов в мишени. Далее сигналы поступают на формирователи стандартных логических сигналов Φ_2 .

На рис. 4 приведены кривые задержанных совпадений логических каналов спектрометра (в качестве опорного использовался первый детектор мониторинговой системы $ППД_{\Delta 1}$), измеренные с использованием источника ^{106}Ru . Длительность сформированных сигналов временной привязки составляла 60 нс. Сигналы совпадений организованы на четверенной пятывходной схеме совпадений $СС$ со встроенными задержками и общим каналом запрета (рис. 3).

Сигналы временной привязки использовались также для измерения загрузок каналов спектрометра, что позволило эффективно контролировать состояние системы и установки. Измерение загрузок каналов осуществлялось с помощью счетчиков с контроллером для вывода информации на экран дисплея. Величины загрузок каналов быстрого логического отбора составили: 1) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$ — 4830; 2) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$, M — 1098; 3) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$, M , $ППД_1$ — 4,25; 4) $ППД_{\Delta 1}$, $ППД_{\Delta 2}$, M , $ППД_2$ — 4,06 импульсов/с. По оценкам количество двойных совпадений телескопов — 4 импульса за 100 с.

Блоки регистрации спектрометрической информации осуществляют преобразование сигналов, поступающих с детекторов в цифровые коды. Наличие большого числа каналов, высокая точность и большие загрузки обусловили принятую структуру каналов регистрации спектрометрической информации (рис. 3). Сигналы с линейных (энергетических) выходов предусилителей поступают на спектрометрические уси-

лители и далее — на аналого-цифровые преобразователи. В настоящее время реализованы 11 спектрометрических каналов с усилителями БУС2-97 и аналого-цифровыми преобразователями, разработанными в Ленинградском институте ядерной физики АН СССР и выполненными на основе традиционного метода преобразования амплитуда — время — код. Преобразователи реализованы в стандарте КАМАК и позволяют организовать достаточно эффективную передачу информации в э.в.м.

Основные характеристики спектрометрических каналов: нелинейность (интегральная) 0,03%; температурная стабильность 0,1 канал/°С; временная стабильность 0,04 канала/ч; разрешение (с эквивалентной емкостью ППД) 25 кэВ; разрешение по источнику ^{226}Ra (экспериментальные условия) 70 кэВ.

Одним из важнейших этапов подготовки электронной системы спектрометра является калибровка спектрометрических каналов на требуемый энергетический диапазон. На данном этапе эксперимента калибровка каналов производилась на энергию 50 МэВ. Из-за отсутствия калиброванных источников излучения с энергией в требуемом диапазоне каналы калибровались на энергию 10 МэВ с помощью образцовых спектрометрических α -источников ^{226}Ra , имеющих четыре хорошо разрешимые линии 4,784, 6,002, 5,489 и 7,687 МэВ, и затем осуществлялась перекалибровка на диапазон до 50 МэВ с использованием генератора импульсов точной амплитуды NZ-635/С. Калибровка спектрометрических каналов требует тщательного учета всех факторов, влияющих на искажение аппаратного спектра, основными из которых являются нелинейность спектрометрических каналов, рассеяние в веществе калибровочного источника, рассеяние во входном окне детектора и т. д. Как показывают предварительные оценки, использование данной методики с учетом основных факторов, влияющих на аппаратный спектр, позволяет проводить калибровку спектрометрических каналов с точностью не хуже $\sim 0,2\%$. На рис. 5 приведен калибровочный спектр для одного из спектрометрических каналов.

Аппаратура связи с управляющей э.в.м. СМ-3 служит для передачи экспериментальной информации в память э.в.м. для накопления предварительной обработки и далее для передачи на э.в.м. ЕС-1030, а также для оперативного управления и контроля спектрометра и хода эксперимента. Сопряжение с э.в.м. включает системный крейт с контролером типа А и линию связи со стандартным контролером ветви фирмы ORTEC (BD-011). Кроме того, имеется выносной дисплейный пульт оператора, позволяющий управлять работой э.в.м. СМ-3 и

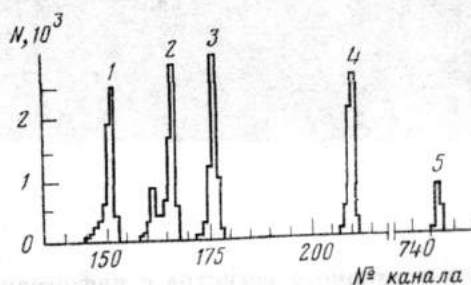


Рис. 5. Калибровочный спектр (источник ^{226}Ra ; 1 — 4,784; 2 — 5,489; 3 — 6,002; 4 — 7,687 МэВ; 5 — пик генератора). Цена канала 50 кэВ

системой. Связь управляющей э.в.м. СМ-3 с э.в.м. ЕС-1030 осуществляется по стандартным каналам сопряжения системы ЛУГА ОС [6]. Аппаратура связи СМ-3 с электронными блоками спектрометра позволяет выполнять все необходимые функции КАМАК по приему и передаче информации, а также по контролю за состоянием блоков электронной системы спектрометра.

Чтение информации осуществляется в режиме последовательного опроса группы аналого-цифровых преобразователей и входного регистра [3], содержащего информацию о признаке события по логике быстрого отбора. Такой режим выбран с целью сокращения времени чтения одного события, так как сигнал готовности опрашивается один раз на все событие (на 12 информационных слов). Мертвое время спектрометра определяется временем преобразования аналого-цифровых преобразователей (~ 30 мкс) и временем передачи информации о событии в память э.в.м. (~ 10 мс). Снижение мертвого времени может быть достигнуто за счет использования канала прямого доступа в память э.в.м.

Для организации связи электронной аппаратуры с управляющей э.в.м. СМ-3 и э.в.м. ЕС-1030 в настоящее время разработано программное обеспечение, включающее управление блоками КАМАК, прием, накопление и обработку экспериментальной информации, передачу информации на э.в.м. ЕС-1030. Программное обеспечение управляющей э.в.м. СМ-3 позволяет осуществить следующие функции: управление параметрами программно управляемых модулей КАМАК (программа INIT осуществляет установку исходного состояния программно управляемой аппаратуры); прием спектрометрической информации и служебной информации (программа КАМАК осуществляет проверку готовности передачи информации и последовательное чтение экспериментальной информации с аналого-цифровых преобразовате-

лей и входного регистра с информацией о бы-
стром логическом отборе с накоплением проме-
жуточного буфера данных); вывод на экран
дисплея, печатающее устройство промежуточ-
ного буфера данных (программы TV, TT для
контроля и отладки системы); накопление ос-
новного буфера данных и передача его на э.в.м.
ЕС-1030 (программы BUFF, TOES осуществ-
ляют накопление экспериментальных данных
в требуемом формате и объеме передачи на э.в.м.
ЕС-1030; возможен и режим записи информации
буфера на диск управляющей э.в.м. СМ-3
с последующей передачей его на э.в.м. ЕС-1030);
предварительная обработка данных (программы
COUN, HIST включают определение признака
события по экспериментальным данным, опре-
деление счетов событий, накопление гистограмм
по экспериментальной информации). Результа-
ты предварительной обработки необходимы
для контроля хода эксперимента и опе-
ративного вмешательства в процесс измере-
ния. С этой целью результаты предваритель-
ного анализа информации могут быть выведены
на экран дисплея или печатающее устройство
в ходе эксперимента. Кроме этих программ
имеется программа калибровки спектрометри-
ческих трактов (программа CALIB, осуществ-
ляющая набор калибровочных спектров α -
источников ^{226}Ra и их обработку с целью опре-
деления характеристик спектрометрических
каналов). Все программы, входящие в матема-
тическое обеспечение управляющей э.в.м. СМ-3,
написаны на языке ФОРТРАН.

Созданная электронная система многослой-
ного полупроводникового спектрометра с про-
граммным обеспечением использовалась в экс-
перименте по исследованию коррелированных
пар заряженных частиц при поглощении π^- -
мезонов ядрами. Система проработала в общей
сложности 250 ч. Эксплуатация системы пока-
зала, что все ее характеристики полностью от-
вечают требованиям, необходимым для прове-
дения подобных экспериментов. Принцип по-
строения системы обеспечивает возможность
дальнейшего ее расширения, а также выполне-
ние дополнительных функций по настройке и
калибровке без существенных изменений кон-
фигурации и программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bertrand F. E., Burrus W. R., Hill N. W., et al. Nucl. Instrum. and Methods, 1972, v. 101, p. 475.
2. Горнов М. Г., Гуров Ю. Б., Лапушкин С. В. и др. Препринт ОИЯИ, 13-12921, Дубна, 1979.
3. Журавлев Н. И., Синаев А. Н., Стахин А. А. Сооб- щение ОИЯИ, 10-9479, Дубна, 1978.
4. Борейко В. Ф., Будяшов Ю. Г., Валугев Ю. М. и др. Препринт ОИЯИ, P13-12331, Дубна, 1979.
5. Akimov Yu. K., Andert K., Kallnin A. I., Ortlepp H. IEEE Trans., 1972, v. NS-19, № 3, p. 404.
6. Бондарь Н. Ф., Волков С. С., Уваров Л. Н. Препринт ЛИЯФ, 389, Л., 1978.

Объединенный институт ядерных исследований,
Дубна
Поступила в редакцию 22.III.1982