АНАЛИТИЧЕСКИЙ БЛОК ДЛЯ ВОЛНОДИСПЕРСИОННЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ

А.Ю.Зенин, НПАО "Научприбор",
nauchpribor_orel@mail.ru

Д.П.Санников, к.т.н., ОГУ имени И.С.Тургенева,
sannikov@ostu.ru

УДК 543.427.4; ВАК 05.11.13

Рассматривается опытный образец микроконтроллерного аналитического блока на основе проточного пропорционального счетчика (ионизационной камеры, работающей в режиме газового усиления). Приведено общее описание структурной схемы указанного блока и его принципа действия. Представлены результаты предварительных испытаний.

При выполнении НИР по теме "Разработка программного комплекса для проведения элементного анализа слоев диффузионных пластин силовых полупроводниковых приборов" было выявлено, что для регистрации малых концентраций легирующих примесей целесообразно применить в составе аппаратуры комплекса, помимо полупроводникового детектора (silicon drift detector), детекторы на основе волновой дисперсии. В процессе работ был создан дополнительный аналитический блок.

Разработанный аналитический блок предназначен для применения в составе волнодисперсионных рентгеновских спектрометров, основным достоинством которых

является возможность определения малых концентраций анализируемых элементов. Это достигается за счет применения аналитических каналов фиксированного типа, выполненных с применением изогнутых кристаллов-анализаторов по схеме Иогансона [1]. Недостатком данного типа спектрометров является тот фактор, что стандартные датчики, расположенные на кристалл-дифракционных каналах (монохроматорах), имеют в своем составе только предварительный усилитель. Аналоговый сигнал с них поступает на вход основного усилителя-дискриминатора по коаксиальному кабелю большой длины. По отдельным кабелям на вход датчика подается напряжение питания

Рис.1. Структурная схема блока: 1 – пропорциональный проточный счетчик; 2 – предварительный зарядочувствительный усилитель-формирователь; 3 – высоковольтный источник питания; 4 – усилитель-дискриминатор; 5 – устройство управления и связи с ПК через интерфейс RS-485; 6 – узел электропитания

постоянного тока (± 12 В), необходимое для работы предварительного усилителя, а также постоянное напряжение питания (+2000 В) для работы датчика в режиме "пропорционального счетчика". Это приводит к появлению дополнительного сигнала помех в составе полезного сигнала с датчика.

Структурная схема разработанного аналитического блока приведена на рис.1. В его состав входят следующие узлы:

- пропорциональный проточный счетчик;
- предварительный зарядочувствительный усилитель-формирователь;
- высоковольтный источник питания;
- усилитель-дискриминатор;
- устройство управления и связи с ПК через интерфейс RS-485;
- узел электропитания.

Перечисленные узлы аналитического блока собраны на основе общей несущей конструкции. Все электрические линии связи имеют минимальную длину. Применение указанной компоновки позволило отказаться от использования дополнительных кабельных линий связи, значительно упростить блок управления спектрометром, а также повысить технологичность его изготовления, обслуживания и ремонта. Крепление блока на фиксированный рентгеновский спектрометрический канал осуществляется при помощи специальной быстросъемной рамки-соединителя.

Фотография опытного образца аналитического блока (с печатных узлов ВВИ и УД/RS-485, входящих в состав блока, сняты экраны) приведена на рис.2.

ПРИНЦИП РАБОТЫ БЛОКА

Фотоны характеристического рентгеновского излучения от исследуемого образца направляются посредством коллиматора на специально подобранный кристалл под определенным углом. На кристалле происходит дифракция фотонов, которые направляются на входное окно проточ-

Рис.2. Внешний вид аналитического блока

Таблица 1. Электрические параметры

Напряжение питания, В	±15
Максимальный потребляемый ток, мА	180
Напряжение, подаваемое на электроды счетчика, кВ	1,5–2,0
Диапазон регистрируемых энергий, кэВ	1,04–5,90
Энергетическое разрешение на линии Мп Ка при скорости счета $2 \cdot 10^5$ имп./с, %	≤ 25
Емкость счетчика импульсов	2^{32}
Длительность экспозиции, с	0,1–600
Газовая смесь	Ar+CH ₄
Интерфейс связи с ПК	RS-485, USB
Протокол связи	НПР-СРМ (только для СРМ), Modbus RTU

ного пропорционального счетчика (1 на рис.1), представляющего собой двухэлектродный прибор (катод – металлический цилиндрический корпус, анод – вольфрамовая нить, укрепленная в специальных изоляторах) [2]. При помощи высоковольтного источника питания (3) между катодом и анодом счетчика создается разность потенциалов, что приводит к образованию электрического поля. При попадании фотона в пространство между электродами происходит ионизация газовой смеси, которой заполнен объем счетчика. Под действием электрического поля произведенные носители заряда дрейфуют к соответствующим электродам, в результате чего на выходе счетчика формируются импульсы тока с амплитудой, пропорциональной энергии, затраченной фотонами на первичную ионизацию среды камеры счетчика. Далее эти импульсы поступают на вход предварительного зарядочувствительного усилителя-формирователя (2), где они преобразовываются в импульсы напряжения с дальнейшим усилением по амплитуде.

Полученные импульсы напряжения отрицательной полярности через дифференцирующую RC-цепь и канал "А" мультиплексора поступают на вход основного

Рис.3. График амплитудного распределения на линии Мп Ка

инвертирующего усилителя с программно-управляемым коэффициентом усиления. Необходимый коэффициент усиления устанавливается в процессе настройки спектрометра. Через канал "В" мультиплексора подается сигнал самоконтроля блока (на рис.1 не показан).

Усиленные до необходимой амплитуды импульсы напряжения положительной полярности поступают на вход программно-управляемого амплитудного ("оконого") дискриминатора (4), служащего для селекции анализируемых импульсов на фоне шума и формирования счетных импульсов [3]. Сигнал поступает на вход порта РВ.0 микроконтроллера ATXmega256A3U (МК). В процессе настройки микроконтроллера к этим выводам подключаются неинвертирующие входы встроенных компараторов данного порта. Инвертирующие входы этих компараторов подключаются к выводам микроконтроллера, на которые подается напряжение с цифроаналогового преобразователя (ЦАП), также встроенного в микроконтроллер.

Компаратор АСВ.0 детектирует выход амплитуды входного сигнала за пределы нижнего уровня дискриминации (параметр "Н. Порог"). Выход компаратора через каналы "системы событий" микроконтроллера и специальный внешний триггер (для исключения из анализа искаженных, "спаренных" импульсов) подключен к входу встроенного в микроконтроллер счетчика ТСД, при этом значение его счетного регистра увеличивается на 1 при наступлении события.

Компаратор АСВ.1 детектирует выход амплитуды входного сигнала за пределы верхнего уровня дискриминации (параметр "В. Порог"). Выход компаратора через каналы "системы событий" микроконтроллера и специальный

Таблица 2. Результаты предварительных испытаний

№ п/п	U РИ, кВ	I РИ, мА	Скорость счета, имп./с	Клин.	Положение фотопика, канал	Энергетическое разрешение, %
1	30	5	44 304	1,000	61	19,6
2	30	10	87 024	0,982	61	20,8
3	30	20	170 684	0,963	60	21,6
4	30	30	248 413	0,934	59	22,03
5	30	35	283 100	0,913	59	23,20
6	30	40	316 790	0,893	59	24,13

Рис.4. Интерфейс программы настройки аналитического блока

Рис.5. Окно программы с графиком, полученным в результате измерений

внешний триггер (для исключения из анализа искаженных, "спаренных" импульсов) подключен к входу встроенного в микроконтроллер счетчика ТСЕ. Алгоритм работы описан выше.

По команде от ПК (программы управления) микроконтроллер сбрасывает счетные регистры таймеров TCD и TCE и запускает компараторы и таймер RTC, отвечающий за отсчет интервала времени измерения. После окончания заданного интервала времени (параметр "ЭКСПОЗИЦИЯ") от таймера RTC поступает запрос на прерывание, при выполнении которого производится программный расчет количества импульсов, попавших в границы "окна", как разности значений счетных регистров счетчиков TCD и TCE. По команде от внешней программы управления полученный результат по цифровому интерфейсу связи RS-485 (5) передается в ПК для последующего анализа. Также по командам от программы управления производится установка уровней дискриминации, напряжения на выходе высоковольтного источника питания и длительности экспозиции [5].

Для проведения предварительных испытаний разработанный аналитический блок был установлен на спектрометр СРМ-35-16 зав. № 1, которым оснащена лаборатория рентгеновских спектрометров НПАО "Научприбор". Блок был установлен на канал Mn (марганец). В результате проведенных испытаний были получены значения линейности счетной характеристики блока, стабильности положения фотопика при разных режимах работы рентгеновского излучателя. Электрические параметры блока приведены в табл.1, а результаты предварительных испытаний – в табл.2. Пример графика амплитудного распределения представлен на рис.3.

В ходе испытаний аналитический блок, как и спектрометр, был подключен непосредственно к диспетчеру ПК (специализированному преобразователю COM – RS-485). Управление работой и блока, и спектрометра производилось при помощи программного обеспечения для сервисного обслуживания СРМ. Для обеспечения прямого взаимодействия аналитического блока с программой сервисного обслуживания был доработан штатный модуль связи спектрометра (программа работы МК) без

изменения его электрической принципиальной схемы, что позволило использовать стандартные узлы и программное обеспечение спектрометра.

Для альтернативного управления аналитическим блоком в его конструкции предусмотрен дополнительный интерфейс связи USB 2.0, а также разработан дополнительный программный модуль в составе "Программного комплекса для проведения элементного анализа слоев диффузионных пластин силовых полупроводниковых приборов". Интерфейс данного программного обеспечения при выполнении измерения представлен на рис.4 и 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный аналитический блок предназначен для применения в составе аппаратуры разрабатываемого "Программного комплекса для проведения элементного анализа слоев диффузионных пластин силовых полупроводниковых приборов", а также рентгеновских спектрометров СРМ-25М, СРМ-35 и их модификаций, изготавливаемых НПО "Науч-прибор". При доработке алгоритмов действия микроконтроллера возможно применение блока в составе спектрометров других производителей. На основании полученных данных планируется разработка и изготовление аналитических блоков для регистрации энергий в диапазоне от 5 до 40 кэВ.

НИОКР "Разработка детекторов с цифровым интерфейсом для волнодисперсионного рентгеновского спектрометра" выполнена при финансовой поддержке "Фонда содействия инновациям".

ЛИТЕРАТУРА

1. **Черноруков Н.Г., Нипрук О.В.** Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа // Электронное учебно-методическое пособие. 2012. 57 с.
2. **Группен К.** Детекторы элементарных частиц: Справочное издание / Пер. с англ. Л.М.Курдадзе, С.И.Эйдельман. Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999.
3. **Санников Д.П., Зенин А.Ю., Татаринкова С.В.** Программно-аппаратный комплекс регистрации и обработки потока импульсов излучения // Спектрометрические методы анализа // Всероссийская научная Интернет-конференция с международным участием. Материалы конференции. 2014. С. 125–132.
4. **Зайцев Н.Г., Надеев А.И.** Программно-аппаратный комплекс многоканальной регистрации и обработки потока одноэлектронных импульсов // Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева Сибирского отделения РАН, ЖУРНАЛ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ [Электронный журнал]. № 3, 2012. URL: <http://jre.cplire.ru/win/mar12/11/text.html>.
5. Порты, интерфейсы [Электронный ресурс]. URL: <http://servis2010.ru/porty-interfejsy/item/3200-porty.html>.

XIV Андриановская конференция "Кремнийорганические соединения. Синтез, свойства, применение"

С 3 по 6 июня 2018 года в Москве в ИНЭОС РАН состоится XIV Всероссийская с международным участием Андриановская конференция "Кремнийорганические соединения. Синтез, свойства, применение".

Организаторы форума – Отделение химии и наук о материалах РАН, Научный совет РАН по ВМС, Научный совет РАН по органической химии, ИНЭОС РАН, ИСПМ РАН, ИОХ РАН, ГНИИХТЭОС, МГУ им. М.В.Ломоносова, МТУ ИТХТ им. М.В.Ломоносова, РХТУ им. Д.И.Менделеева.

Конференция посвящена обсуждению наиболее актуальных проблем, тенденций и перспектив развития новых методов синтеза силоксановых и карбосилоновых соединений, кремнийорганических мономеров, олигомеров и полимеров, ознаком-

лению с современными методами анализа их структуры и свойств.

Особое внимание на форуме ученых будет уделено вопросам инновационных технологий получения силиконовых продуктов и материалов, в том числе основанных на использовании возобновляемого сырья. Это потребует коренной перестройки всего производственного цикла с ориентиром на использование прогрессивных подходов, начиная со стадии синтеза основных мономеров и заканчивая расширением номенклатуры кремнийорганической продукции. В ходе конференции участники смогут ознакомиться с новейшими исследованиями в области кремнийорганических соединений в России и за рубежом, оценить состояние кремнийорганической науки в нашей стране и мире.

Основные тематические направления конференции:

- новые методы синтеза кремнийорганических мономеров, олигомеров и полимеров;
- структура и свойства кремнийорганических соединений;
- теоретические расчеты и компьютерное моделирование кремнийорганических полимеров;
- новые кремнийорганические материалы и их практическое применение.

Планируется проведение Круглого стола по наиболее актуальным вопросам производства и применения силиконов, подготовки кадров, проблемам импортозамещения.

ИНЭОС РАН

тел.: +7(499) 135-50-53
andrianov@ineos.ac.ru;
www.andrianov2018.ru