

МЕТОДЫ И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ НАНОКОМПОНЕНТОВ В НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛАХ И СРЕДАХ

В. П. Шелохвостов¹, В. Н. Чернышов²

*Кафедры: «Материалы и технология» (1);
«Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции» (2),
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru*

Ключевые слова: аналоги сравнения; методы обнаружения и идентификации нанобъектов; микропроцессорные системы; нанобъекты; наноструктурированная среда; электронные аналоги сравнения.

Аннотация: Рассмотрены методы обнаружения и идентификации наноконпонентов в наноструктурированных средах, состоящие в создании объектов сравнения искомым компонентом и их электронных аналогов, подготовке однородной наномодифицированной исследуемой среды, создании условий их энергетического резонансного взаимодействия, достижение которого позволяет обнаружить и идентифицировать искомый наноконпонент. Разработана методика, включающая создание объектов сравнения на основе наномодифицированной исследуемой среды и их электронных аналогов на полевых транзисторах с плавающим затвором. Созданы базы данных электронных аналогов, наиболее часто применяемых в практике наноиндустрии. Разработана микропроцессорная система, реализующая созданные резонансные методы обнаружения и идентификации наноконпонентов в исследуемых средах, включающая микроконтроллер, электронные аналоги искомым нанобъектов в матрице памяти на полевых транзисторах, измерительную ячейку, включающую наномодифицированную исследуемую среду, блоки управления, позволяющие реализовывать алгоритмы созданных методов обнаружения и идентификации нанобъектов, обрабатывать и хранить результаты экспериментов.

Введение

Интенсивное развитие нанотехнологий связано в первую очередь с синтезом ультрадисперсных систем, которые используются в качестве исходных материалов при производстве объемных наноструктурных материалов и как наноконпоненты (НК) в наноструктурированных материалах (НСМ) и средах. Причем, доля НСМ в промышленности и строительстве непрерывно увеличивается. Поэтому возникает необходимость обнаружения, идентификации и количественной оценки НК в конечных продуктах и на различных стадиях технологического процесса. Использование для этой цели известных исследовательских методик и оборудования в большинстве случаев малооправдано по различным причинам.

Все более актуальными оказываются оперативные методы обнаружения наноконпонентов, разрабатываемые, в том числе, с использованием новых СПР-подходов (Структурные состояния, Поток энергетические, Резонансные взаимо-

действия), и приведенные в нескольких авторских работах [1, 2]. Контроль НК в наноструктурированных средах (особенно жидких) при использовании традиционных методов связан с рядом сложностей, поскольку для данных целей требуется выявление именно структуры НК, а не их химического состава.

Электронная микроскопия высокого разрешения наиболее однозначно и надежно идентифицирует НК, но непосредственно для определения их атомной структуры может использоваться ограниченно.

Спектральный анализ возбужденных состояний даже изолированных кластеров (без их разрушения) в меньшей степени приемлем из-за малых энергетических расстояний между возбужденными состояниями, инструментально воспринимаемыми как единая «минизона» без разрешения устойчивых уровней внутри нее. Кроме того, возбужденные состояния НК могут располагаться в различных энергетических диапазонах (рентгеновском, световом, коротковолновом радиодиапазонах), что существенно усложняет инструментальную приборную базу для их контроля. Иногда достаточно общей (интегральной) характеристики спектра для идентификации той или иной группы нанообъектов, в частности, в работе [3] предложена идентификация углеродных нанотрубок по обнаружению определенного энергетического спектра.

Кардинальным решением данной проблемы стало создание методик трансформации спектров НК различных энергетических диапазонов в определенную среду и в приемлемый энергетический диапазон с сохранением информационной компоненты, необходимой для идентификации НК. В качестве такой среды в ряде случаев уже используется водная среда, структура которой при определенных условиях адаптируется к помещенным в нее НК и формирует динамическую сверхрешетку, отражающую их возбужденные состояния. Ряд вопросов формирования сверхструктурных состояний освещены и экспериментально подтверждены в работах [1, 2, 4, 5].

Идентификация НК в таких средах сводится к созданию рабочего объекта и объекта сравнения, выполняющего роль образцового, созданию условий их возбуждений, по резонансному взаимодействию которых и осуществляется идентификация искомого НК.

Основная трудность такой диагностики – сложность создания средства сравнения, длительное сохранение его структуры и сравнительно невысокая воспроизводимость. Альтернативой данной ситуации является создание и использование электронного аналога объекта сравнения, что не только увеличивает время жизни, но дает возможность использования его в микропроцессорных системах (МПС) с современными базами данных.

В работе представлена разработанная методика создания *объекта сравнения*, исследована возможность записи его возбужденных состояний (энергетического спектра) в гетероструктуры на базе полевых транзисторов (*разработка ячейки электронной памяти*), дано описание *универсальной МПС* обнаружения и идентификации нанообъектов в различных средах и материалах.

Методика создания индивидуального объекта сравнения для резонансных методов обнаружения и идентификации наноконструкций в наноструктурированных средах

Наноструктурирование (наномодифицирование) среды или материала предполагает введение нанообъектов в известные твердые или жидкие материалы в целях изменения под воздействием нанообъектов их структуры с существенным увеличением каких-либо свойств (прочность, магнитные характеристики, проводимость и др.). С технологической точки зрения вопрос не простой. *С одной сто-*

роны поверхность нанообъекта может в разной степени компенсироваться промежуточными средами с понижением его активности. В частности, углеродные трубки зачастую покрыты аморфным углеродом, что показано, например, в работе [6].

С другой стороны, модифицируемая среда или материал уже имеют собственную структуру. Например, состояние воды часто описывается как структура «ближнего порядка», представляющая собой размерный спектр «кристаллических ассоциаций» (время жизни в пределах $10^{-9} \dots 10^{-5}$ с) и свободных молекул воды. Причем доля «кристаллической» составляющей значительно меняется (до 60 % в окрестности фазового перехода), что существенно меняет динамику процесса модифицирования [7 – 9].

С точки зрения диагностики НК в среде такое строение полезно, поскольку распад и зарождение кристаллических кластеров в зоне влияния нанокompонента способствует формированию строения «кристаллических» кластеров со строением, фрактально отражающим его устойчивые энергетические уровни, что способствует переносу информационной компоненты с нанообъектов в более устойчивую составляющую среды.

Более устойчивые «кристаллические» участки можно отличить от остальной массы из-за их большого магнитного момента [10]. Если данные препятствия устранены, то структура содержит нанокompоненты, измененные «кристаллические» ассоциации и свободные от воздействия НК участки (неструктурированные области). Наибольший эффект структурирования достигается уменьшением неструктурированных областей.

Для повышения эффекта структурирования среды и возможности в дальнейшем использования ее как образцового объекта сравнения необходимо осуществить очистку поверхности нанообъекта от примесей непосредственно перед его введением в среду, а в процессе введения нанообъекта следует обеспечить условия его контакта с устойчивыми «кристаллическими» ассоциациями и «передачи» им информационной компоненты. Техника такого структурирования среды известна и описана, например, в работе [5]. Наноструктурированная известным нанообъектом среда, доведенная разведением до концентраций, при которых структурное состояние системы обеспечивает резонанс в паре нанообъект – среда, может использоваться как объект сравнения или образцовая система в отношении данного известного нанообъекта.

В качестве примера в данном случае приведена методика создания объектов сравнения углеродных нанотрубок нескольких размеров. Углеродные нанотрубки получали пиролизом в кварцевом реакторе при температуре 650°C с никелевым катализатором. Продукты синтеза подвергали очистке отжигом в вакууме, последующей очистке в толуоле, ультразвуковой очистке в растворе серной кислоты, последующему разделению на фракции, далее «чистые» единичные нанотрубки вводили в бидистиллированную воду, экспериментально доводили структурное состояние системы до резонансных концентраций разведением и механической активацией [8].

Структуры полученных продуктов и нанообъектов на различных этапах создания объектов сравнения показаны в виде электронно-микроскопических структур на рис. 1. Следует отметить универсальность методики, поскольку в качестве промежуточной среды при подготовке объектов сравнения может использоваться не только другая жидкость, но и твердофазная среда в виде порошка (металлы, химические соединения, полимеры). Система наноструктурируется добавлением нанообъектов и последующей механической активацией, например, при равноканальном прессовании.

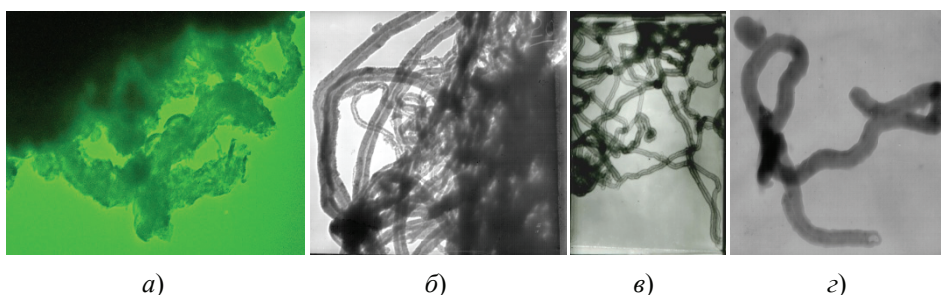


Рис. 1. Углеродные нанотрубки (электронная микроскопия, $\times 40\,000$):
a – непосредственно после синтеза; *б* – удаление аморфной составляющей (отжиг в вакууме); *в* – очистка в толуоле; *г* – удаление катализатора, раскрытие концов трубок (раствор серной кислоты)

Создание и запись энергетических спектральных характеристик объекта сравнения

Традиционная запись в полупроводниковую полевую структуру осуществляется при прохождении тока по каналу между истоком и стоком за счет инжекции носителей в плавающий затвор (ПЗ) в случае положительного смещения, на ПЗ формируется отрицательный заряд, определяющий проводимость канала (канал открыт).

Нетрадиционная запись проводится по схеме рис. 2, *a*. Предварительным условием является возможность объекта 5 создавать возбужденные состояния под воздействием поперечного магнитного импульса в момент подключения цепи (замыкание ключа 3) и модулировать тем самым величину тока в электрической цепи, создавая спектр импульсов, отражающий спектры НК и наноразмерных ассоциаций среды. Дополнительно в цепи может находиться операционный усилитель и пик-процессор, что значительно уменьшает шумы. Предположительно таким свойством обладают нанообъекты и устойчивые ассоциации среды в объектах сравнения, созданных как пример по приведенной выше методике для углеродных нанотрубок.

В качестве основного элемента узла 2 записи и хранения аналогового сигнала использовалась единичная ячейка CMOS EPROM, созданная по технологии лавинной инжекции заряда (см. рис. 2, *a*). Система содержит сток–исток *n*-типа с оксидкремниевым изолятором и два расположенных друг над другом изолированных затвора.

Схема ячейки памяти электронного аналога образцового объекта приведена на рис. 2, *б*. Ячейка состоит из транзистора 4 и трех ключей 1 – 3 на микросхеме

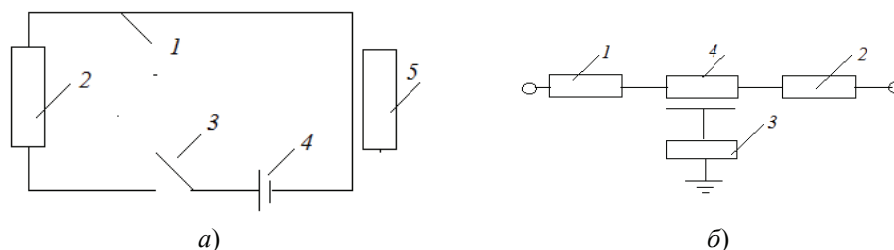


Рис. 2. Формирование электронного аналога образцового объекта:
a – схема записи (1 – электрическая цепь, 2 – блок записи, 3 – ключ, 4 – питание, 5 – образцовый объект); *б* – единичная ячейка памяти (1 – 3 – ключи на микросхеме K561 (КТЗ), 4 – полевой транзистор с плавающим затвором)

K561 (КТЗ). Открытие ключа 3 замыкает затвор транзистора на землю. Открытие ключа 1 приводит к формированию пикосекундного импульса (за счет малой емкости) исток–затвор, образованию плазменной волны в данной цепи и формированию за счет поперечной составляющей локализованных на переходах и в квантовых ямах экситонных структур.

Экспериментальное исследование электронного аналога объекта сравнения

Локализация энергетического спектра НК и кластеров объекта сравнения в полупроводниковые структуры ставит труднодоступную для известных средств задачу контроля и сертифицирования энергетических аналогов (ЭА) объектов. В данном случае использовалась специально разработанная методика электронно-оптического муара, описанная в работах [11, 12].

Базируясь на указанных работах рассмотрена возможность идентификации и анализа ЭА средствами электронной микроскопии, методом электронно-оптического муара с последующей вейвлет-обработкой. Муаровые картины получали при помощи электронографа ЭГ-100 методом двойной экспозиции электронного потока [13], проходящего через сетку в присутствии поля ЭА.

Результат съемки представлен на рис. 3, а. Далее проводилась обработка изображения по методике вейвлет-преобразования графической информации с использованием функции *coiflet* (рис. 3, в), которая позволила получить картину распределения интенсивности поля у электрода (рис. 3, б) в виде участков, различных по площади и оптической плотности (наиболее плотные области соответствуют большей напряженности поля).

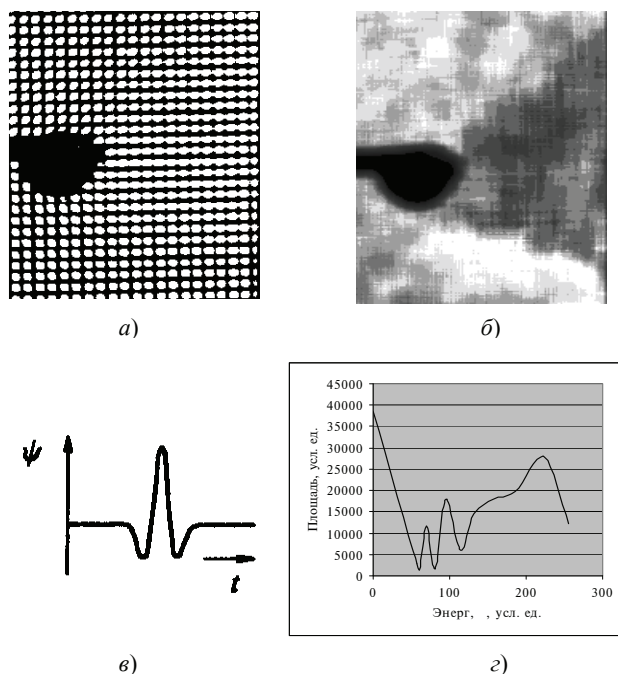


Рис. 3. Муаровая картина поля ЭА (а) и стадии ее обработки с применением вейвлет-анализа:

б – после обработки в виде картины; г – в виде функциональной зависимости;
 в – функция *coiflet*; г – представление результатов в виде графической зависимости

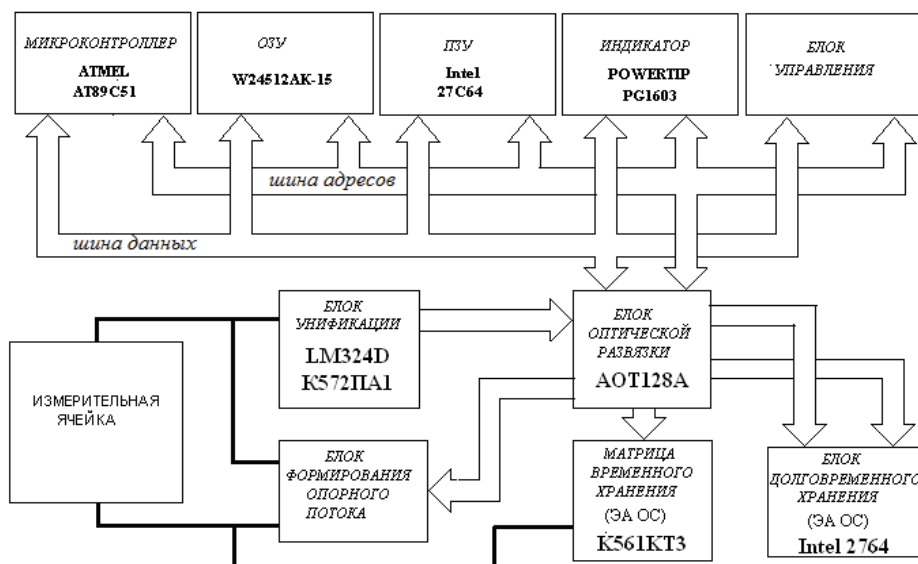
Подсчет площади для различных градаций интенсивности поля и построенные зависимости «величина энергии – площадь» дает представление о спектральной характеристике поля у электрода. Показано, что каждому ЭА соответствует своя зависимость, отличающаяся от зависимостей других аналогов. Проведена также проверка на воспроизводимость, показавшая, что результаты двух съемок одного и того же аналога дают после математической обработки идентичные функциональные зависимости. Установлено, что метод электронно-оптического муара позволяет регистрировать как электрические параметры поля в виде искажения изображения сетки, так и информационный пакет, содержащийся в нем, который записывается и сохраняется на фотопластинке при экспонировании.

Все вышеизложенное доказывает возможность применения данного метода для визуализации, идентификации и анализа энергоинформационных характеристик ЭА объектов сравнения.

Микропроцессорная система обнаружения и идентификации нанокомпонентов в наномодифицированных средах с использованием энергетических аналогов объектов сравнения

Разработка и исследование единичной ячейки памяти объектов сравнения (ОС), создание техники записи в ней аналогового информационного сигнала, его хранения и коммутации позволили в дальнейшем разработать микропроцессорную систему, функциональная схема которой приведена на рис. 4.

Основным блоком системы контроля является восьмиразрядный микроконтроллер ATML AT89C51 объемом 32 КБ, который управляет функционированием всей системы в соответствии с алгоритмом. Постоянное запоминающее устройство процессора Intel 27C64 предназначено для хранения программного обеспечения системы, включая и программу управления. Программное обеспечение (ПО) контроллера написано на языке ассемблера по модульному принципу и поэтому может быть легко модифицировано под конкретную задачу пользователя. Программное обеспечение включает: системное, прикладное и тестовое.



**Рис. 4. Функциональная схема микропроцессорной системы,
реализующей созданные методы обнаружения
и идентификации нанокомпонентов в исследуемых средах**

Системное ПО выполняет функцию арбитра между остальными группами программ и предоставляет им ресурсы системы по их запасам. *Прикладное ПО* выполняет конкретную задачу пользователя и может применять для своих нужд любые подпрограммы, имеющиеся в наличии. Оно осуществляет управление системой по заданному алгоритму, формирует необходимые временные задержки, обрабатывает результаты измерений и ведет диалог с пользователем, то есть прикладное ПО является основным для данной системы. *Тестовое ПО* предназначено для автоматической проверки работоспособности системы при включении и содержит в себе тесты: оперативно-записывающего устройства (ОЗУ), постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) (проверка контрольной системы), интерфейсных устройств и процессора.

Для динамической индикации результатов взаимодействия энергетических потоков ЭА ОС с внешними устройствами в системе экспресс-контроля используется трехстрочный графический жидкокристаллический индикатор POWERTIRR PG1603. Блок управления представляет собой емкостную клавиатурную матрицу 4 × 4. Блок долговременного хранения ЭА ОС реализован на микросхеме Intel 2764, созданной по технологии лавинной инжекции заряда (нЛИЗМОП). Для временного хранения энергетических (электронных) объектов сравнения, их накопления, объединения, уничтожения и т.д. в системе используется матрица ЭА ОС, основными элементами которой является CMOS – ключи K561 (КТЗ).

Блок формирования опорного потока (тока) предназначен для создания высокостабильного постоянного тока в диапазоне до 100 мкА во внешней цепи, в которой происходит взаимодействие с выбранным ЭА ОС. Блок унификации информативных сигналов, состоящий из операционного усилителя LM324D и аналого-цифрового преобразователя серии K572 ПА1, преобразует значения тока в цепи внешнего объекта исследования.

Для гальванической развязки основных блоков системы (микроконтроллер, ОЗУ, ПЗУ, блок управления) с цепью объекта исследования и блоками долговременного и оперативного хранения ЭА ОС в системе используется оптическая развязка, реализованная на оптопарах АОТ128А.

Работа системы экспресс-контроля нанокomпонентов в модифицированных средах осуществляется следующим образом. При включении питания микроконтроллер устанавливается в исходное состояние, производится тестирование системы, после чего инициализируются периферийные устройства и устанавливаются в исходное состояние. Матрица ЭА ОС отключена от цепи объекта исследования, микроконтроллер вырабатывает сигнал, по которому на жидкокристаллическом индикаторе высвечивается приглашение к работе. Нажатием клавиши на блоке управления подается команда по линии данных на микроконтроллер, который, взаимодействуя по шинам данных и адресов с ОЗУ и ПЗУ, посылает через блок оптической развязки команду на включение блока долговременного хранения ЭА ОС и адресную выборку определенного ЭА ОС. Затем по команде с микроконтроллера осуществляется запись выбранного единичного ЭА ОС и открытие ключа коммутации матрицы с цепью объекта исследования.

При подключении данной ячейки происходит изменение проводимости в цепи, аналогичное изменению проводимости при включении в цепь реального физического объекта, заранее подготовленного по определенной методике. Происходящее изменение проводимости в цепи объекта исследования в блоке унификации преобразуется в цифровой вид и через оптическую развязку по линии данных поступает в микроконтроллер, а также отображается в графическом виде на жидкокристаллическом индикаторе. Процесс вывода графической информации непрерывен и реализован через прерывания микропроцессора, что позволяет вести контроль тока в цепи объекта исследования в реальном времени.

Затем по команде с блока управления осуществляется запись информации о следующем ЭА ОС из блока долговременного хранения ЭА ОС в ячейку матрицы временного хранения ЭА ОС и производится коммутация этой ячейки с цепью объекта исследования. Информация об изменении проводимости через блок унификации и оптической развязки поступает на индикатор и в контроллер, где по алгоритму, построенному в соответствии с реализуемым методом, определяется наличие или отсутствие в исследуемом объеме того наноконпонента, ЭА ОС которого был в данном цикле включен в цепь объекта исследования. Далее по тому же алгоритму происходит подключение остальных ЭА ОС и выясняется наличие или отсутствие в исследуемом объеме (объекте) других наноконпонентов.

Экспериментально установлено, что в случае занесения в ячейки матрицы нескольких ЭА ОС с последующим их сложением, наблюдается эффект воздействия суммарных характеристик, совпадающий с действием сложных отдельных ЭА ОС. Следовательно, разработанные и созданные ЭА ОС по воздействию адекватны физическим объектам.

Произведена экспериментальная проверка работоспособности разработанной системы с использованием ЭА ОС наиболее распространенных наноконпонентов, таких как фуллерены, углеродные нанотрубки, нанообъекты меди и др. Формирование ЭА ОС данных наноконпонентов осуществлено с использованием реальных сертифицированных объектов.

Осуществлено создание ЭА ОС углеродных нанотрубок, полученных пиролизом при температуре 650 °С с использованием никелевого катализатора, последующей очисткой от аморфной составляющей (отжиг в вакууме при 300 °С), удалением катализатора (10 % азотная кислота), разрушением конгломератов (ультразвуковая обработка), разделением нанотрубок по размерам (центрифуга, 1500 об/мин), определением размеров этих нанотрубок электронной микроскопией, последующим изготовлением объектов сравнения (чередование разведения и механической активации) и создание на этой основе электронных аналогов объектов сравнения (запись энергетического возбуждения ОС в полевую структуру – МДП-транзистор с плавающим затвором (структура металл–диэлектрик–полупроводник)) углеродных нанотрубок полученных диаметров.

Исследованы продукты синтеза углеродных нанотрубок [14] с использованием созданных баз данных ЭА ОС углеродных нанотрубок различных диаметров, полученных по приведенным выше параметрам и подвергнутых только разведению и динамизации до концентраций, соответствующих резонансным ($\sim 1,10^{-8}\%$). Показано, что продукты синтеза содержат углеродные нанотрубки двух диапазонов размеров (40...50, 80...110 нм), подтверждаемых электронной микроскопией (см. рис. 1, б). Таким образом, экспериментально показана возможность использования предложенной системы не только для идентификации НК, но и их разделения по размерам, что позволяет сделать вывод о корректности предложенного информационно-энергетического подхода (СПР-подхода), положенного в основу создания системы оперативного контроля наноконпонентов в различных средах.

Основными преимуществами разработанной системы является возможность оперативного контроля наличия НК в исследуемых средах, а также расширение функциональных возможностей путем увеличения базы данных ЭА ОС по широкому спектру НК.

Выводы

1. Проведен анализ экспериментальных работ по обнаружению и идентификации НК в наноструктурированных средах, в которых реализованы СПР-подходы, базирующиеся на использовании взаимосвязанных структурных и над-

структурных состояний в исследуемой среде, энергетических потоков и резонансных взаимодействий с локализованными в МДП-структурах электронными аналогами индивидуальных объектов сравнения.

2. Представлена методика создания объектов сравнения для резонансных методов обнаружения и идентификации наноконпонентов.

3. Предложена и реализована ячейка памяти, в которой записывается и хранится свернутый спектр возбужденных состояний объектов сравнения в виде связанных состояний в квантовой полевой структуре (электронный аналог), реализующая функции долговременного хранения, многократного использования и коммутации этого полевого аналога объектов сравнения.

4. С использованием предложенной ячейки памяти разработана микропроцессорная система обнаружения и идентификации НК, содержащая блоки оперативной и долговременной памяти ЭА ОС наноконпонентов, обеспечивающая полный цикл обнаружения и идентификации наноконпонентов в наноструктурированных средах и материалах.

5. Проведена экспериментальная проверка разработанных методов и реализующей их информационно-измерительной системы, подтвердившая корректность основных положений и выводов, изложенных в данной работе.

Список литературы

1. Шелохвостов, В. П. Методы и средства контроля параметров конденсированных сред, содержащих наноструктурные компоненты / В. П. Шелохвостов, В. Н. Чернышов // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 2007. – Т. 13, № 3. Рубрика 01, Препринт № 21. – 60 с.

2. Шелохвостов, В. П. Методы и системы диагностики наномодифицированных конденсированных сред / В. П. Шелохвостов, В. Н. Чернышов. – М. : Спектр, 2013. – 144 с.

3. Раков, Э. Г. Нанотрубки и фуллерены : учеб. пособие / Э. Г. Раков. – М. : Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.

4. Вода и водные растворы при температурах ниже 0 °С / под ред. Ф. Френкса. – Киев : Наук. Думка, 1985. – 398 с.

5. Феноменология формирования структурных и надструктурных состояний в жидких наномодифицированных средах / В. П. Шелохвостов и др. // Вопр. соврем. науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2012. – Спец. вып. 43. – С. 74-80.

6. Очистка наноматериала от сажевых включений в процессе отжига на воздухе / Х. Х. Саламех [и др.] // Актуальные проблемы нано- и микроэлектроники: тез. докл. Всеросс. науч. школы 7–8 июля 2011 г. – Тамбов, 2011. – С. 132 – 133.

7. Антонченко, В. Я. Основы физики воды / В. Я. Антонченко, А. С. Давыдов, В. В. Ильин. – Киев : Наук. Думка, 1991. – 668 с.

8. Морозов, А. А. Технология гомеопатического потенцирования и проблема биологических эффектов малых доз химических веществ / А. А. Морозов // Химическая технология. – 2001. – № 2. – С. 45 – 47.

9. Безмельницын, В. Н. Фуллерены в растворах / В. Н. Безмельницын, А. В. Елецкий, М. В. Окунь // Успехи физических наук. – 1998. – Т. 168, № 11. – С. 1196 – 1220.

10. Лахно, Д. В. Кластеры в физике, химии, биологии / Д. В. Лахно. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 256 с.

11. Метод визуализации энергоинформационных характеристик полевых аналогов препаратов / В. П. Шелохвостов [и др.] // Труды ТГТУ. – 2000. – Вып. 5. – С. 183 – 186.

12. Применение метода электронно-оптического муара для визуализации и анализ полей различной физической природы / В. П. Шелохвостов [и др.] // Вестник ТГУ. – Тамбов, 2000. – Т. 5, Вып. 2-3. – С. 342 – 344.

13. Измерение стационарного электрического поля методом электронно - оптического муара / В. П. Иванов [и др.] // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. – 1999. – Т. 5, № 2. – С. 271 – 276.

14. Пат. № 2327149 Российская Федерация, С1 G01N 27/06. Способ обнаружения и определения концентрации нанообъектов в сложных растворах (варианты) / Макачук М. В., Шелохвостов В. П., Чернышов В. Н., Образцов Д. В. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГТУ»; № 2006130908/28 ; заявл. 2006.08.28 ; опубл. 2008.06.20. Бюл. 17. – 10 с.

Methods and Microprocessor System of Detection and Identification of Nanocomponents in Nanomodified Materials and Media

V. P. Shelokhvostov¹, V. N. Chernyshov²

*Department of Materials and Technology (1);
Criminal Law and Applied Informatics in Jurisprudence (2),
TSTU, Tambov, Russia; elters@crimeinfo.jesby.tstu.ru*

Keywords: comparison analogues; methods of detection and identification of nano-objects; microprocessor systems; nano-objects; nanostructured medium; electronic comparison analogues.

Abstract: Methods for detection and identification of nano-components in nanostructured media are considered. These methods include the creation of comparison objects for the desired components and their electronic counterparts, the preparation of a homogeneous nanomodified medium, the creation of conditions for their energetic resonant interaction, the achievement of which makes it possible to discover and identify the desired nanocomponent. A technique that includes the creation of comparison objects based on the nanomodified study medium and their electronic analogs on field-effect transistors with a floating gate is developed. The databases of electronic analogues often used in the practice of nano-industry have been created. A microprocessor system implementing the created resonance methods for detection and identification of nanocomponents in the investigated media has been developed. It comprises a microcontroller, electronic analogues of the desired nanoobjects in the memory array in field transistors, a measuring cell including the nanomodified study medium, control units to implement algorithms for the newly-created methods of detection and identification of nano-objects, process and store the results of experiments.

References

1. Shelokhvostov V.P., Chernyshov V.N. [Methods and means of monitoring parameters of condensed media containing nanostructural components], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2007, vol. 13, no. 3, Rubrika 01, Preprint no. 21, 60 p. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Shelokhvostov V.P., Chernyshov V.N. *Metody i sistemy diagnostiki nanomodifitsirovan-nykh kondensirovannykh sred* [Methods and systems for diagnostics of nanomodified condensed media], Moscow: Spektr, 2013, 144 p. (In Russ.)

3. Rakov E.G. *Nanotrubki i fullereny* [Nanotubes and fullerenes], Moscow: Universitetskaya kniga, Logos, 2006, 376 p. (In Russ.)
4. Frenksa F. *Voda i vodnye rastvory pri temperaturakh nizhe 0 °S* [Water and aqueous solutions at temperatures below 0 ° C], Kiev: Nauk. Dumka, 1985, pp. 76-175. (In Russ.)
5. Shelokhvostov V.P., Obraztsov D.V., Gumbin V.V., Golovlev S.V. [Phenomenology of the formation of structural and superstructural states in liquid nanomodified media], *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University* [Issues of modern science and practice. Vernadsky University], 2012, vol. 43, pp. 72-79. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Salamekh Kh.Kh., Shelokhvostov V.P., Obraztsov D.V., Makarchuk M.V., Sablin S.N. [Cleaning of nanomaterial from soot inclusions during annealing in air] *Aktual'nye problemy nano- i mikroelektroni-ki*, Vseross. Nauchn. Shkoly, 7-8 July 2011, Tambov: Izd-vo Pershina R.V., 2011, pp. 132-133. (In Russ.)
7. Antonchenko V.Ya., Davydov A.S., Il'in V.V. *Osnovy fiziki vody* [Fundamentals of Water Physics], Kiev: Nauk. Dumka, 1991, 668 p. (In Russ.)
8. Morozov A.A. [The technology of homeopathic potentiation and the problem of the biological effects of small doses of chemicals], *Khimicheskaya tekhnologiya* [Chemical Technology], 2001, no. 2, pp. 45-47. (In Russ.)
9. Bezmel'nitsyn V.N., Elets'kii A.V., Okun' M.V. [Fullerenes in solutions], *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical sciences], 1998, vol. 168, no. 11, pp. 1196-1220. (In Russ.)
10. Lakhno D.V. *Klastery v fizike, khimii, biologii* [Clusters in physics, chemistry, biology], Izhevsk: NITs «Regu-lyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2001, 256 p. (In Russ.)
11. Shelokhvostov V.P., Lukantsov S.A., Ivanov V.P., Zakurko V.P. [Method of visualization of energy-information characteristics of field analogues of drugs], *Trudy TGTU*, 2000, vol. 5, pp. 183-186. (In Russ.)
12. Shelokhvostov V.P., Ivanov V.P., Zakurko A.V., Lukantsov S.A. [Application of the method of electron-optical moiré for visualization and analysis of fields of various physical nature], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2000, vol. 5, no. 2-3, pp. 342-344. (In Russ., abstract in Eng.)
13. Ivanov V.P., Ivanov V.M., Pechagin E.A., Serkutan Yu.V., Timoshin A.V. [Measurement of a stationary electric field by the method of electron-optical moire], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 1999, vol. 5, no. 2, pp. 271-276. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Makarchuk M.V., Shelokhvostov V.P., Chernyshov V.N., Obraztsov D.V. *Sposob obnaruzheniya i opredeleniya kontsentratsii nanoob"ektov v slozhnykh rastvorakh (varianty)* [Method for the detection and determination of the concentration of nanoobjects in complex solutions (variants)], Pat. 2327149. (In Russ.)

Methoden und Mikroprozessorsystem der Erkennung und Identifizierung von Nanokomponenten in nanomodifizierten Materialien und Medien

Zusammenfassung: Es sind Verfahren zum Nachweis und zur Identifizierung von Nanokomponenten in nanostrukturierten Medien betrachtet, die in der Erstellung der Vergleichsobjekte der erforderlichen Komponenten und deren elektronischen Analoga, der Herstellung eines nativen nanomodifizierten erforschten Mediums, der Herstellung der Bedingungen für ihre energetische Resonanzwechselwirkung bestehen. Deren Erreichen ermöglicht das Entdecken und Modifizierung der gewünschten Nanokomponente. Es ist die Methodik ausgearbeitet, die es ermöglicht,

Vergleichsobjekte auf der Basis des nanomodifizierten erforschten Mediums und deren elektronischen Analoga auf Feldeffekttransistoren mit einem Floating-Gate zu schaffen. Es ist eine Datenbank von elektronischen Analoga erstellt, die üblicherweise in der Praxis der Nanotechnologieindustrie eingesetzt wird. Es ist das Mikroprozessorsystem ausgearbeitet, das die entwickelten Resonanzverfahren der Detektion und Identifizierung von Nanokomponenten in den Testmedien realisiert. Es besteht aus einem Mikrocontroller und elektronischen Analoga der gewünschten Nanoobjekte in der Speichermatrix FET, der das nanomodifizierte Testmedium einschließenden Messkette, den Steuereinheiten, die es ermöglichen, Algorithmen der etablierten Methoden der Entdeckung und der Identifizierung der Nanoobjekte zu implementieren und die Ergebnisse der Verfahren zu verarbeiten und zu speichern.

Méthodes et système microprocesseur de la détection et de l'identification des nanocomposants dans un environnement et des matériaux nanomodifiés

Résumé: Sont examinées les méthodes de la détection et de l'identification des nanocomposants dans les milieux nanoconstruits qui comprennent la fixation des objets de la comparaison des composants recherchés. Est élaborée une méthodologie comprenant la création d'objets de la comparaison à la base du milieu nanomodifié et leurs analogues électroniques sur des transistors de champ avec une porte coulissante. Sont créées des bases de données des analogues électroniques les plus utilisées dans la pratique des nanotechnologies. Est élaboré le système microprocesseur réalisant les méthodes créées de la détection et de l'identification des nanocomposants dans les milieux étudiés comprenant le microcontrôleur, les analogues électroniques des nanoobjets recherchés dans la matrice de la mémoire sur des transistors, la cellule de mesure, les unités de contrôle permettant de réaliser des algorithmes créés par les méthodes de la détection et de l'identification des nanoobjets, de traiter et de stocker les résultats des expériences.

Авторы: *Шелохвостов Виктор Прокопьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технологии»; *Чернышов Владимир Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Жуков Николай Павлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
