

Нанодисперсные и особо чистые материалы широко используются для решения важнейших фундаментальных и прикладных задач в наиболее наукоемких и инновационных областях российской экономики. Для синтеза этих материалов перспективно применение низкотемпературной плазмы, позволяющей получать нанопорошки и обеспечивающей минимальный аппаратный фон по микропримесям [1, 2]. Эффективная разработка плазмохимических процессов требует использования самых современных информационных технологий. Наиболее перспективной системой компьютерной поддержки является CALS-технология (Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта). В основе концепции CALS лежит комплекс единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации и ее корректной интерпретации [3]. Для научной проработки промышленных производств и обучения специалистов был создан теоретический информационный CALS-проект, структурированный по трем взаимосвязанным направлениям: «наноматериалы» (нанотехнология); «плазмохимия»; «особо чистые материалы» (технология особо чистых веществ - ОСЧВ). В подкатегории № 1 теоретического CALS-проекта - «Нанотехнология» рассматриваются теоретические основы синтеза наноматериалов [1]. Вся информация структурирована по 3-м сечениям (рис. 1): 1.1. Перспективы развития нанотехнологий в России. В данной категории содержится информация: о государственных грантах; законодательных актах по стимуляции развития данной области; ведущих организаций и исследователях в данной области; существующих патентов и др. 1.2. Основные виды наноматериалов. Внесена информация в соответствие с проведенным анализом литературных источников, сети Internet, собственных наработок и исследований в области наноматериалов. Содержится основная номенклатура применяемых в России наноматериалов. 1.3. Методы получения наноматериалов. В данном разделе CALS-проекта содержится информация о методах применяемых в настоящее время для получения наноматериалов. Например в подразделе «Порошковой технологии» рассмотрены: «Метод Глейтера», «Плазмохимический синтез» и «Электроразрядное спекание». В 1-м сечении CALS-проекта (рис. 1) показано, что в ближайшие годы наноматериалы и наноэлектроника, а также фармацевтика будут давать огромные объёмы продаж на мировом рынке нанотехнологий, который будет составлять более 1 трлн. долл. в год. В России из федерального бюджета на выполнение этих программ предполагается израсходовать 133.8 млрд. руб. Например, на 2008-2010 гг. действовала Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации» стоимостью 27.7 млрд. руб. Вся приведенная информация занесена в категории № 1: «Нанотехнология». На (рис. 1-а) показано, что в ближайшие 8-10 лет более 60% мирового рынка нанотехнологий будут составлять наноэлектроника (около 300 млрд. долл.) и непосредственно сами наноматериалы (около 350 млрд.

долл.) Немалая доля рынка приходится и на фармацевтику (около 180 млрд. долл.). Исходя из этого можно сделать вывод, что данные отрасли на данном этапе и при дальнейшей поддержке государства станут наиболее перспективными для вложения денежных средств. Рис. 1 - Теоретический CALS-проект. Подкатегория: «Нанотехнология» Во 2-м сечении (рис. 1-б) CALS-проекта рассматриваются основные виды наноматериалов. Приведено их описание, а также представлены микрофотографии с микроскопа и схематическое изображение внешнего вида наноматериалов (рис. 1-б). Квалификация изделий и занесение их в CALS-проект осуществлялась исходя из размеров, диапазон которых находился в пределах от 1 до 100 нм. Реально диапазон рассматриваемых объектов гораздо шире - от отдельных атомов ($R \approx 0.1$ нм) до их конгломератов и органических молекул, содержащих свыше 100 атомов и имеющих размеры гораздо более 1 мкм в одном или двух измерениях. Исходя из анализа литературных источников, нами были рассмотрены три основных вида наноматериалов, а именно:

- В раздел № 1.2 «Видов наноматериалов» в подразделе «Нанотрубки» (рис. 1) содержится информация о «нанотрубках» и «нановолокнах» (объекты, у которых два характеристических размера находятся в диапазоне до 100 нм). На рисунке (рис. 1-б, середина) изображено схематическое представление разновидности углеродных нанотрубок.
- В подразделе «Пленки» содержится информация о «Наноплёнках» (рис. 1) (объекты, у которых один характеристический размер находится в диапазоне до 100 нм). На (рис. 1-б, низ) в качестве примера, представлена микрофотография нанотонкой плёнки Pd на кремниевой подложке после обработки водородом в СВЧ плазме в течение 5 минут.
- В последнем подразделе «Частицы» занесена информация о «Наночастицах» и «Нанопорошках» (объекты, у которых три характеристических размера находятся в диапазоне до 100 нм). Пример наночастицы платины представлен на (рис. 1-б, верх), полученной осаждением из коллоидного раствора. Исходя из рассматриваемого нами третьего сечения нашего исследования в разделе CALS-проекте № 1.3 «Методы получения наноматериалов» внесена информация об основных методах, которые разбиты по группам: порошковая технология, интенсивная пластическая деформация, контролируемая кристаллизация из аморфного состояния, пленочная технология, механическое сплавление. Все группы внесены в CALS-проект в соответствующие подкатегории. Там же внесена необходимая информация об объектах получаемых в данных группах и основных методах включаемых в эти группы. Для каждого метода приведены: соответствующие технологические характеристики, преимущества и недостатки, технологические требования и др. Например, при получении наноструктурных, а в отдельных случаях и нанодисперсных порошков, органических и неорганических веществ и различных композитных порошковых систем на их основе - применяется «Порошковая технология». На рис. 1-в представлена, занесенная в CALS-проект,

высоконапряженная роторно-вихревая мельница основным принципом работы, которой является самоизмельчение частиц. Как и в струйных мельницах, рабочим телом, инициирующим движение частиц, является воздух (или инертные газы в случае измельчения взрывоопасных материалов).

Технологическая схема, описание мельницы и др. внесены в CALS-проект в соответствующей категории. В разделе № 2 CALS-проекта (рис. 2), в категории «Плазмохимия» информация структурирована по следующим сечениям: 2.1.

Плазмохимические процессы. 2.2. Виды плазмохимических реакторов. 2.3.

Классификация плазмотронов. В CALS-проекте в подкатегории № 2.1.

рассмотрены два вида процессов: квазиравновесные и неравновесные. Для каждого из процессов внесена информация о соответствующем аппаратурном оформлении. На (рис. 2-а) приведен чертеж плазмохимической установки осаждения из газовой фазы с удалением плазмы. Данная установка была разработана в Институте неорганической химии СО РАН и внесена в CALS-проект с соответствующими узлами. Установка включает в себя следующие основные узлы, занесенные в CALS-проект: 1 – баллон с газом носителем; 2 – реактор; 3 – ВЧ-генератор и индуктор; 4 – ячейка с прекурсором; 5 – печь нагрева подложки; 6 – система откачки реактора. Рис. 2 - Теоретический CALS-проект. Подкатегория: «Плазмохимия» В подкатегорию № 2.2. CALS-проекта внесены рассмотрены

следующие виды реакторов: реактор открытого типа, реактор циклонного типа, струйные реакторы. Например, для струйных ректоров (прямоточный и со встречными струями) на рис. 2-б представлены принципиальные схемы из CALS-проекта. На схеме плазмохимических агрегатов внесенных в CALS-проект приведены основные узлы: 1 - плазматрон; 2 - узел подачи сырья; 3 - плазменный реактор; 4 - закалочный агент; 5 - узел улавливания и обработки продуктов. В подкатегорию № 2.3. CALS-проекта внесена информация о двух видах

плазмотронов (высокочастотных и дуговых). Высокочастотные плазмотроны подразделяются на: емкостные, индукционные, сверхвысокочастотные, факельные. Наибольший интерес для нас представляют дуговые плазмотроны [4]. На рис. 2-в представлены следующие схемы дуговых плазмотронов: а - осевой; б - коаксиальный; в - с тороидальными электродами; г - двустороннего истечения; д - с внешней плазменной дугой; е - с расходуемыми электродами (эрозионный). Каждый плазматрон включает следующие элементы: 1 - источник электропитания; 2 разряд; 3 - плазменная струя; 4 - электрод; 5 - разрядная камера; 6 - соленоид; 7 - обрабатываемое тело. Все элементы плазмотронов, технологические требования и характеристики узлов внесены в CALS-проект. В последней категории теоретического CALS-проекта № 3: «ОСЧ материалы» информация структурирована по следующим трем сечениям (рис. 3): 3.1. Выбор источника низкотемпературной плазмы. 3.2. Выбор исходных веществ для синтеза. 3.3. Аппаратурно-технологическое оформление процесса. В подкатегорию № 3.1 «Источники плазмохимического синтеза» внесены две

подкатегории «Виды разрядов» и «Виды плазмообразующих газов». Так как, плазмохимия особо чистых веществ в основном использует 3 вида исходных веществ, то подкатегория № 3.2 «Исходные вещества» структурирована по следующим 3-м группам: «Алкоголяты», «Порошки» и «Хлориды» [2]. На рис. 3 категория «Алкоголяты» представлена тетраэтоксисиланом (ОСЧ 11-5) с соответствующими данной квалификации микропримесями. Рис. 3 - Теоретический CALS-проект. Подкатегория: «ОСЧ материалы» Плазмохимическая технология включает в себя целый ряд узлов и технологических переделов. В CALS-проект занесены исследования поведения микропримесей при плазмохимическом синтезе оксида кремния и тетраэтоксисилана. В подкатегории № 3.3 «Факторы влияющие на чистоту» представлены данные по влиянию различных факторов на чистоту готового продукта. На основе представленных в CALS-проекте таблицы источников данных примесей (рис. 3-а) сделан вывод о том, что основное загрязнение в готовый продукт вносится на стадии улавливания (фильтрация), выгрузки и упаковки готового продукта. На основе CALS-стандарта ISO-10303 STEP разработан информационный CALS-проект в трех информационных сечениях: «наноматериалы»; «плазмохимия»; «особо чистые материалы». Информационный комплекс использовался при разработке технологий получения нанодисперсного кремния [5] и нанопорошков оксидов особой чистоты [6], а также обучении студентов МГУ инженерной экологии и РХТУ им. Д.И. Менделеева.