

УДК 004.9: 544.55: 620.3: 661.681

А. М. Бессарабов, М. Я. Иванов, А. Г. Вендило,
Т. И. Степанова, О. В. Стоянов

ИНФОРМАЦИОННЫЙ CALS-ПРОЕКТ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОПОРОШКОВ ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ

Ключевые слова: CALS-система, нанотехнология, плазмохимия, особо чистые материалы.

На основе CALS-стандарта ISO-10303 STEP разработан информационный CALS-проект в трех взаимосвязанных информационных сечениях: «наноматериалы» (нанотехнология); «плазмохимия»; «особо чистые материалы». Информационный комплекс использовался при разработке технологий получения нанодисперсного кремния и нанопорошков оксидов особой чистоты и обучении студентов МГУ инженерной экологии и РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Keywords: CALS-system, nanotechnology, plasma chemistry, high purity materials.

Information CALS-project in three related information sections: "nanomaterials" (nanotechnology), "plasma chemistry", "high purity materials" was developed based on the CALS-standard ISO-10303 STEP. The information complex used to develop technologies for nanosized silicon and nanopowders of high purity oxides and teaching students of Moscow State University of Environmental Engineering and Mendeleev UCTR.

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 исследователей 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 нанoeлектроника, а также фармацевтика будут давать огромные объемы 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 нанoeлектроника (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.

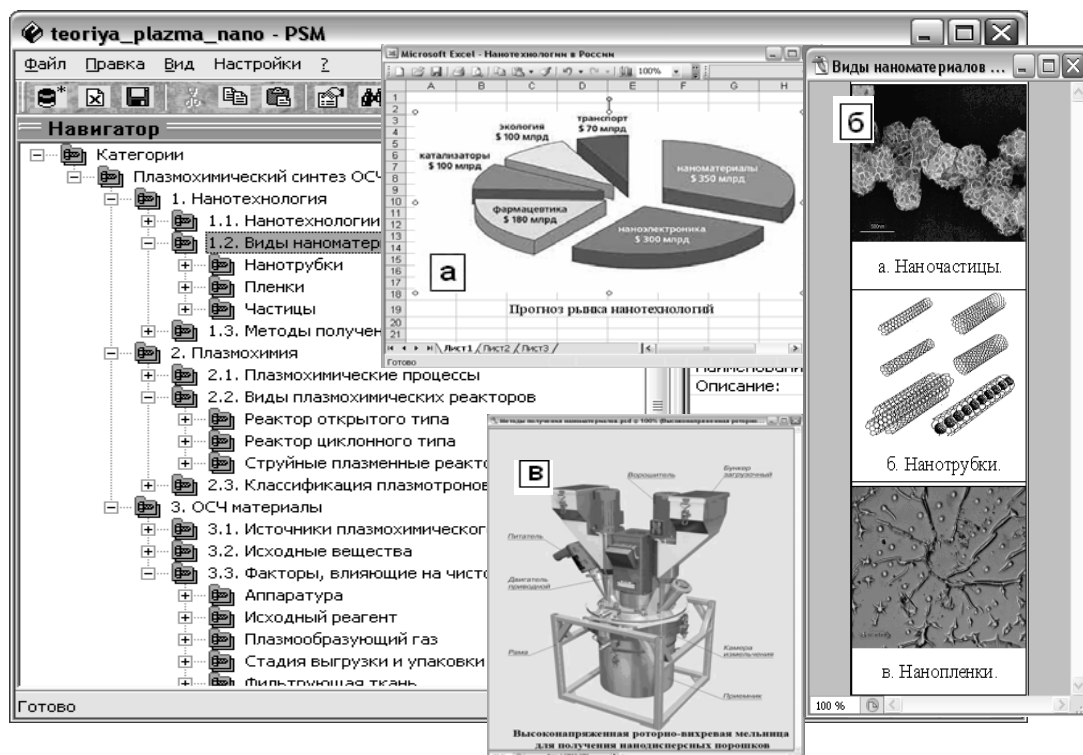


Рис. 1 - Теоретический CALS-проект. Подкатегория: «Нанотехнология»

Во 2-м сечении (рис. 1-б) CALS-проекта рассматриваются основные виды наноматериалов. Приведено их описание, а так же 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 ($R < 0.1$ 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-проект № 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 нанодispersных 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 аппаратном 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.

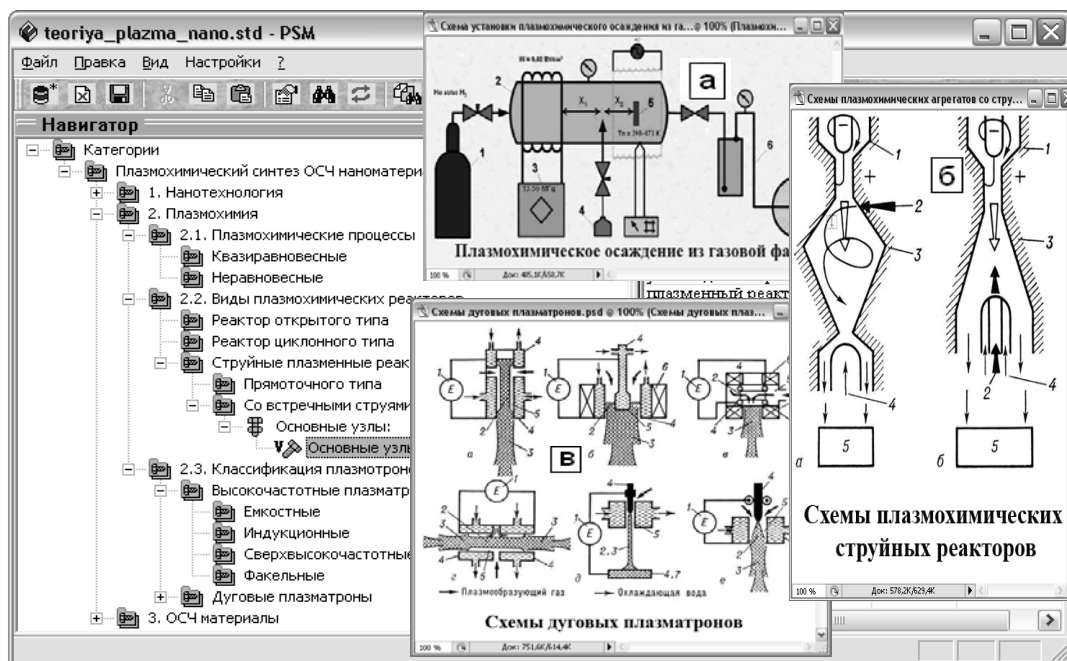


Рис. 2 - Теоретический CALS-проект. Подкатегория: «Плазмохимия»

В подкатегию № 2.2. CALS-проекта внесена рассмотрены следующие виды реакторов: реактор открытого типа, реактор циклонного типа, струйные реакторы. Например, для струйных реакторов (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 подкатегию № 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 расходными электродами (эрозийный). 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. Аппаратно-технологическое оформление процесса.

В подкатегию № 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 подкатеория № 3.2 «Исходные вещества» структурирована по следующим 3-м группам: «Алкоголяты», «Порошки» и «Хлориды» [2]. На рис. 3 категория «Алкоголяты» представлена тетраэтоксисилоном (ОСЧ 11-5) с соответствующими данной квалификации микропримесями.

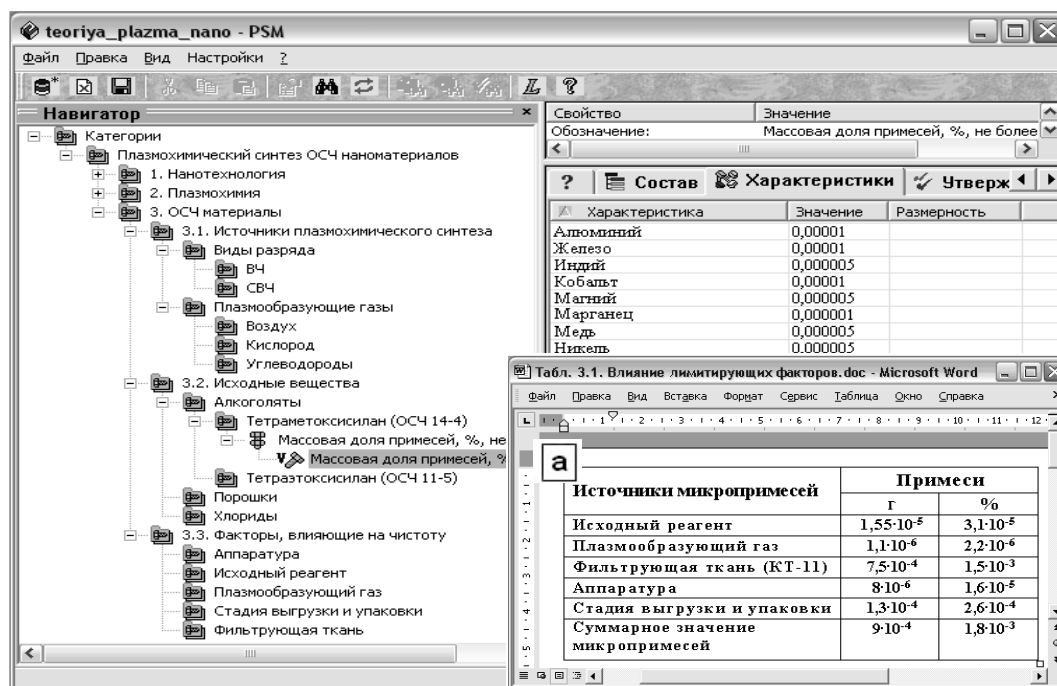


Рис. 3 - Теоретический CALS-проект. Подкатегория: «ОСЧ материалы»

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.

Литература

1. Самохин А.В. Плазмохимические процессы создания нанодисперсных порошковых материалов / Самохин А.В., Алексеев Н.В., Цветков Ю.В. // Химия высоких энергий. 2006. - Т. 40, № 2. - С. 120-125.
2. Рябенко Е.А. Плазмохимические процессы получения особо чистых веществ и катализаторов / Рябенко Е.А., Иванов М.Я., Пархоменко В.Д. // ЖВХО им. Д.И.Менделеева. 1984. - № 6. - С. 646-650.
3. Бессарабов А.М. CALS-технологии при проектировании перспективных химических производств / Бессарабов А.М., Афанасьев А.Н. // Химическая технология. 2002. - № 3. - С. 26-30.
4. Bessarabov A. Microwave drying of multicomponent sols / Bessarabov A., Shimichev V., Menshutina N. // Drying Technology. 1999. - V. 17, № 3. - P. 379-394.
5. Бессарабов А.М. CALS-технология плазменно-криогенного синтеза нанодисперсного кремния / Бессарабов А.М., Иванов М.Я., Квасюк А.В. // Российские нанотехнологии. 2012. - Т. 7, № 1-2. - С. 20-23.
6. Bessarabov A. CALS-technology for synthesis of oxide nanomaterials in low-temperature plasm / Bessarabov A., Kvasyuk A., Kochetygov A., Ivanov M. // Journal of Materials Science and Engineering: A. 2011. - Vol. 1, № 3. - P. 374-379.

© А. М. Бессарабов - д-р тех. наук, проф., заместитель директора по науке, Научный центр «Малотоннажная химия» (НЦ «МТХ»); М. Я. Иванов – д-р тех. наук, гл. науч. сотр. НЦ «МТХ»; А. Г. Вендило – канд. хим. наук, доц., генеральный директор НЦ «МТХ»; Т. И. Степанова – мл. науч. сотр., НЦ «МТХ»; О. В. Стоянов - д-р тех. наук, проф., зав. каф. технологии полимерных материалов КНИТУ, ov_stoyanov@mail.ru.