

УДК 004.652

PACS: 52.

Электронный журнал данных плазмохимического синтеза материалов в микроволновых разрядах, инициируемых излучением импульсного гиротрона в смесях порошков металлов и диэлектриков

А. К. Козак, З. А. Заклецкий, А. С. Соколов, Н. Н. Скворцова

Представлена программа электронного журнала для плазмохимических исследований по синтезу материалов на специализированном стенде с мощным импульсным гиротроном ИОФ РАН. На основании экспериментального цикла работ 2019–2020 гг. плазмохимического синтеза микро и наночастиц был создан прототип электронного журнала и сформированы для него требования по хранению и обработке информации. Прототип электронного журнала был разработан на платформе «1С: Предприятие». Созданная программа для формирования базы параметров плазмохимического синтеза была успешно протестирована в экспериментальных сессиях 2020–2021 гг.

Ключевые слова: плазмохимия, микроволновый разряд, гиротрон, сбор данных, база данных, платформа «1С: Предприятие 8.3».

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-3-225-233

1. Введение

В ИОФ РАН с 2013 года разрабатывается метод синтеза микро- и наночастиц с контролируемым составом и структурой на основе микроволнового разряда, инициируемого излучением гиротрона в смесях порошков металлов и диэлектриков [1]. Данный метод позволяет синтезировать оксидные, нитридные и оксинитридные материалы в микродисперсном состоянии с заданным химическим составом, распределением по размерам. [2].

Синтез материалов с различными характеристиками проводится в плазмохимическом реакторе с использованием одного мощного

импульсного гиротрона (75 ГГц, мощность до 0,8 МВт, длительность импульса СВЧ до 20 мс) комплекса электронно-циклотронного нагрева МИГ-3 стелларатора Л-2М [3].

Синтез происходит в результате протекания в реакторе плазмохимических процессов, инициируемых отдельным импульсом гиротрона, и является сложным процессом. Далее экспериментом будем называть исследования, проведённые в одном импульсе гиротрона. Необходимо разделять отдельный эксперимент и объединённые в серию эксперименты, характеризующиеся определёнными параметрами: режимами СВЧ, химическим составом порошков, давлением газа в реакторе, температурой поверхности порошка и другими характеристиками. В каждом отдельном эксперименте необходимо фиксировать и записывать:

- параметры оборудования плазмохимического стенда, обеспечивающего условия его проведения (гиротронного комплекса, гелиевого криостата, реактора);

- эволюцию во времени данных, регистрируемых различной измерительной аппаратурой, входящей в диагностический комплекс

Козак Анастасия Константиновна, инженер.

E-mail: yokary@inbox.ru

Заклецкий Захар Александрович, и.о. м.н.с.

Соколов Александр Сергеевич, вед. инженер.

Скворцова Нина Николаевна, в.н.с., д.ф.-м.н.

Институт общей физики им. А. М. Прохорова

Российской академии наук.

Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38.

Статья поступила в редакцию 21 апреля 2022 г.

© Козак А. К., Заклецкий З. А., Соколов А. С., Скворцова Н. Н., 2022

стенда: микроволновых детекторов, трех видеокамер, четырех спектрометров, термокамеры;

- дополнительную информацию, описывающую условия проведения эксперимента и работу измерительной аппаратуры (абсолютные измерения мощности гиротрона калориметром, составы и веса исходных порошков, состав газа в реакторе, характеристики добавленных катализаторов).

Для иллюстрации сложной многопараметрической задачи проведения плазмохимического эксперимента мы приводим схему плазмохимического стенда с базовыми диагностиками, которые использовались в экспериментах 2019–2021 гг. [4]. На схематическом изображении стенда (рис. 1) представлено только отдельное оборудование. Информацией о параметрах оборудования на этой схеме является фиксация параметров гиротрона (1) и реактора (3); эволюция во времени данных записывается тремя СВЧ-детекторами (7); дополнительной информацией являются измерение мощности гиротрона поточным калориметром (5). Кроме того, сложность представляет необходимость записи в электронный журнал данных получаемых в разных форматах записи для такой многопараметрической задачи, например, видеофайлы, бинарные файлы СВЧ-измерений, ручной ввод записей измерения весов и порошков и т. д.). Плазмохимические исследования, проводимые на стенде, требуют записей большого количества информации.

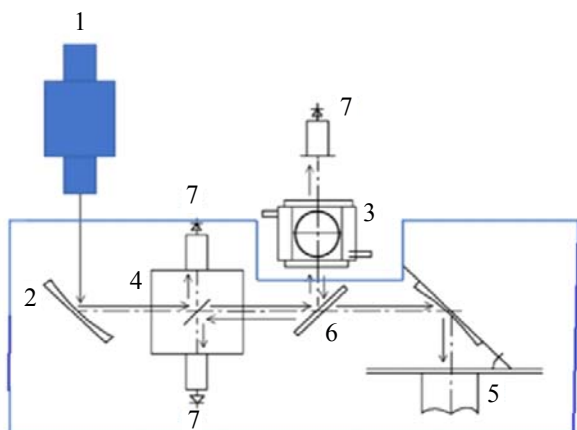


Рис. 1. Схема плазмохимического стенда: 1 – гиротрон; 2, 6 – зеркала квазиоптического тракта; 3 – плазмохимический реактор; 4 – квазиоптический ответвитель балансных СВЧ измерений; 5 – поточный калориметр; 7 – детекторы балансных СВЧ-измерений

В эксперименте необходимо проводить анализ морфологии поверхности, фазового и химического состава исходных и синтезированных микро- и наночастиц, включающий следующие методы:

- сканирующая и просвечивающая микроскопия (СЭМ и ПЭМ);
- энергодисперсионный анализ поверхности (ЭДС);
- рентгенофазовая микроскопия (РФС).

Материалы нужно передавать на дополнительные исследования в другие лаборатории для исследования:

- каталитической активности;
- цитотоксичности;
- остаточной органики.

В каждом эксперименте необходимо обеспечить коммуникацию различных научных групп, систематизацию и хранение полученных данных. Для решения данных задач в работе предложен и разработан прототип базы данных электронного журнала на основе платформы «1С: Предприятие 8.3». [5].

2. Плазмохимический эксперимент

Исходная смеси порошков маркируется при помощи QR-кодов с указанием типа всех характеристик порошка (размер, химический состав, вес, наличие катализатора и пр.). Результат описания представляется в виде файлов, содержащих таблицы данных и рисунков с указанием проведенного исследования (СЭМ, ПЭМ, ЭДС, РФС) характеристик и цифрового QR-кода для каждого типа исходной смеси порошков.



Рис. 2. Фотографии смесей порошков (слева) и пробирок с нанесенным QR-кодом (справа)

В каждом эксперименте с определенной первичной смесью заданной QR-кодом по

синтезу материалов определяется уникальный номер первого СВЧ-импульса гиротрона, который является сквозным и основным параметром, к которому дополнительно заносятся остальные данные вносимые в электронный журнал. Например, каждый эксперимент имеет свою последовательность уникальных номеров импульсов гиротрона. Повторение номера импульса гиротрона невозможно. Импульсы с одинаковыми характеристиками (длительность, мощность, время задержки и т. д.) все равно будут иметь свой уникальный номер. Перед экспериментальной компанией происходит измерение температуры и давления окружающего воздуха, если эксперимент проводится в атмосфере, или измерения остаточного давления в реакторе при работе в вакууме или атмосфере с определенным типом газа.

Работа гиротрона осуществляется в режиме однократных импульсов, которая позволяет инициировать плазмохимические процессы синтеза внутри реактора. Минимальный временной интервал между импульсами составлял 20 секунд. Поэтому за 1 рабочий день можно осуществить до 200 импульсов гиротрона, которые инициируют синтез веществ в реакторе. При этом каждый импульс сопровождается работой всего аппаратно-диагностического комплекса, происходит запись показаний различных датчиков, изображений с видеокамер, спектров и т. д. Объем данных при каждом импульсе гиротрона, который необходимо зарегистрировать, достаточно велик. В течение одного рабочего дня проводится до 10 серий экспериментов в несколько десятков импульсов гиротрона. Эксперимент завершается и фиксируется последний номер СВЧ-импульса. Реактор открывается, синтезированный материал собирается с внутренних стенок кварцевой трубки и крышки. Часть пробирок синтезированных частиц направляется на дополнительные исследования, в соответствии с поставленной научной задачей, что требует дополнительной маркировки. Результаты исследований синтезированных частиц представляются в виде файлов, которые могут содержать рисунки, таблицы данных, текстовые характеристики порошков. Приведенный цикл исследования синтеза частиц является основой для создания прототипа базы данных электронного журнала на платформе «1С: Предприятие 8.3».

3. Требования к разработке базы данных

Основные требования к электронному журналу:

- Электронный журнал должен быть реализован в одной информационной системе (структура).

- Средства администрирования электронного журнала должны предусматривать возможность его ведения и управление им без обращения к разработчику ПО (функционирование).

- Электронный журнал должен обеспечить возможность работы со всеми типами данных, получаемыми в ходе экспериментов на гиротроном комплексе и микроскопических исследований (функционирование).

- В электронном журнале должна быть возможность добавлять новые типы данных и оборудования (функционирование).

- В ролевой модели электронного журнала должны быть созданы и настроены права доступа для следующих базовых групп пользователей:

- администратор;

- научные сотрудники с ограниченным доступом (возможность внесения данных в определенную сферу деятельности);

- студенты (с возможностью только просмотра данных);

- Интерфейс электронного журнала должен быть интуитивно понятен и приближен к формам традиционного журнала научного эксперимента.

- Типовые запросы пользователей электронного журнала должны быть реализованы в виде набора отчетов.

- Электронный журнал должен иметь средства авторизации и аутентификации пользователей.

- Электронный журнал должен иметь возможность протоколирования всех действий пользователей в электронном журнале.

- Электронный журнал должен обеспечивать возможность сохранения определенных данных в форматах: Word, Excell, png, jpeg.

- Электронный журнал должен функционировать на русском языке.

- Должна быть возможность работы с электронным журналом через web-интерфейс с использованием общедоступных интернет-браузеров.

4. Электронный журнал для плазмохимических исследований

На основе требований к разработке базы данных электронного журнала, цикл эксперимента и типа данных, получаемых в данном цикле была выбрана информационная система «1С: Предприятие» (далее «База данных 1С»). Она удовлетворяет всем заявленным требованиям в разделе 3.

В качестве модели данных для электронного журнала результатов экспериментов была выбрана схема «Звезда» рис. 3, которая обеспечивает высокую скорость выполнения запроса посредством денормализации и разделения данных.

Логическая структура схемы «Звезда» заключается в том, что имеются таблицы для каждого Измерения, а все Результаты обработки помещаются в одну таблицу (таблицу фактов).

Таблица фактов (результаты обработки) — центр «звезды», и связанные с ней таблицы измерений (видеокамеры, инструменты, порошки, файлы наблюдений) — лучи «звезды». Вычисление соединения между таблицей фактов и набором таблиц измерений — более эффективная операция, чем вычисление соединения произвольных реляционных таблиц.

Primary Key (PK) – Первичный ключ. Является полем в таблице, которое однозначно идентифицирует каждую строку/запись в таблице базы данных. Первичные ключи должны содержать уникальные значения. Таблица мо-

жет иметь только один первичный ключ, который может состоять из одного или нескольких полей.

Foreign key (FK) – Внешний ключ. Это поле (или набор полей) в одной таблице, которое ссылается на первичный ключ в другой таблице и нужен для того, чтобы обеспечить связь между двумя таблицами.

В результате хранилище состоит из таблицы фактов, которая описывает все транзакции, и таблиц измерений. В ходе заполнения данными схема «Звезда» приобрела логическую структуру «Снежинки» (рис. 4). На основе схемы "Снежинка" нами была разработана программа для ЭВМ "Программа для формирования базы параметров экспериментов синтеза микро- и наночастиц с контролируемым составом и структурой на основе микроволнового разряда в гиротронном излучении" [6].

Отличием «звезды» от «снежинки» является то, что здесь таблицы измерений нормализованы с рядом других связанных таблиц, в то время как в схеме «звезды» таблицы измерений полностью денормализованы: одно измерение – одна таблица, в то время как в схеме «снежинки» таблицы измерений нормализованы с рядом других связанных таблиц. Нормализация – это процесс разделения данных по отдельным связанным таблицам, устраняющий избыточность данных. В нашем случае это таблица дополнительных измерений «Видеокамеры».

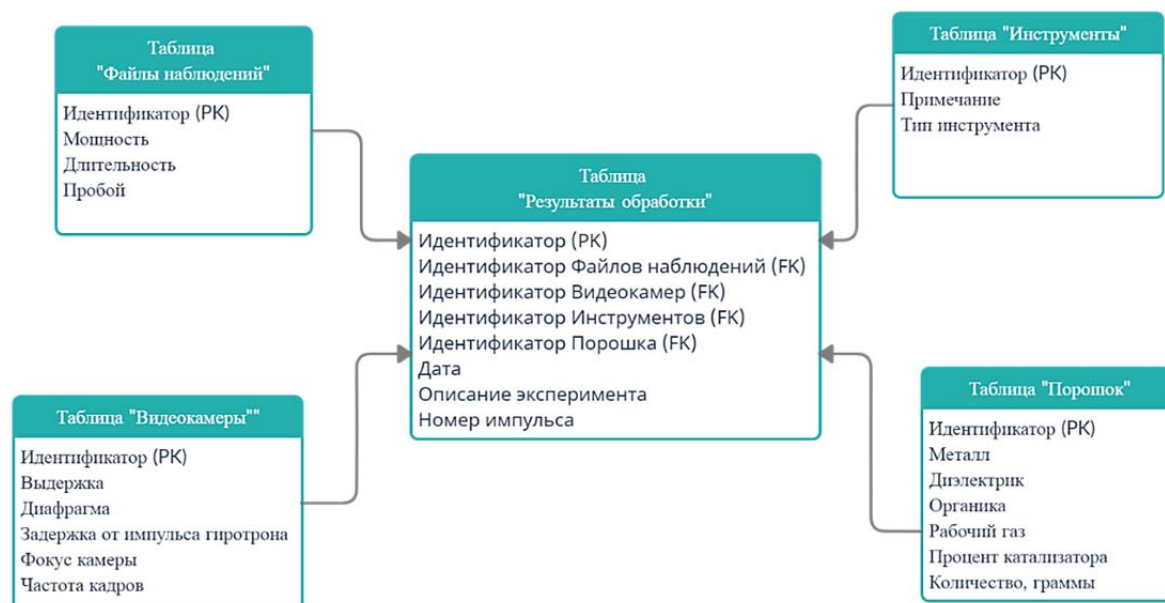


Рис. 3. Логическая структура «Звезда»

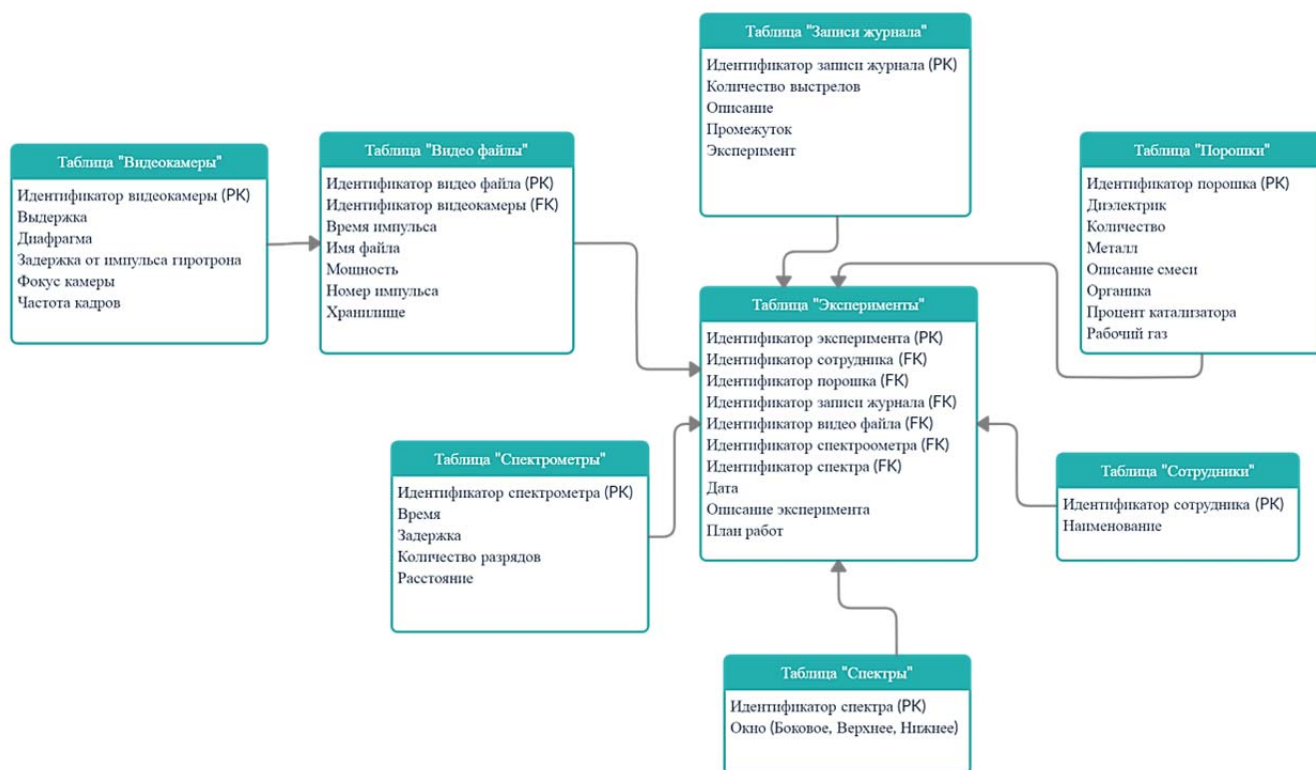


Рис. 4. Логическая структура «Снежинка»

Эта схема данных даёт возможность отбора данных и доступа к результатам экспериментов в любом разрезе (по записям журнала, по датам экспериментов, по спектрометрам, которые использовались для эксперимента и т. д.).

Рассмотрим на примере Таблицы фактов «Эксперименты» и Таблицы измерений «Записи журнала». Внешний ключ (Идентификатор записи журнала FK) в таблице фактов «Эксперименты» ссылается на первичный ключ (Идентификатор записи журнала PK)

в таблице измерений «Записи Журнала» и обеспечивает связь между двумя таблицами.

Таким образом выбирая дату эксперимента мы переходим в таблицу фактов «Эксперименты».

Для проверки возможностей разработанного прототипа электронного журнала были успешно загружены данные экспериментов за период с 05.10.2020 по 09.10.2020, результаты загрузки показаны на рис. 7.

Разработанная база данных позволяет формировать отчеты.

База данных экспериментов ИОФ v.1.0.0.2 (1С:Предприятие) Поиск Ctrl+Shift+F

Записи журнала

Создать

Поиск (Ctrl+F) Ещё

Наименование	Код	Количество выстрелов	Описание	Промежуток между импульсами	Экспер... ↓
Тренировка и калибровка	00000001	28	Не было включено ...		Э-0000012
Калибровка calorиметра	00000002	31			Э-0000012
Подготовка	00000003		1) выстрел в бумагу...		Э-0000012
Эксперименты 23.04.2021	00000004	159			Э-0000013
Эксперименты 26.04.2021	00000005	47			Э-0000014
Эксперименты 27.04.2021	00000006	76			Э-0000015
Эксперименты 28.04.2021	00000007	91	60310 = поставлен ...		Э-0000016
Эксперименты 29.04.2021	00000008	142			Э-0000017

Рис. 5. Таблица измерений «Записи Журнала»

☆ Эксперименты 28.04.2021 (Записи журнала)

Записать и закрыть | Записать | Еще ▾

Код: 00000007

Наименование: Эксперименты 28.04.2021

Количество выстрелов: 91

Описание: 60310 = поставлен магнит (цифрой два не перевернутой внутрь ре:)

Промежуток между импульсами: 0

Эксперимент: Э-0000016

Добавить | ↑ ↓ | Еще ▾

N	Напряжение анода	E	Реальна...	Напряжение катода	Магнитное поле	Величина мощно...	Номер импульса
1	1,0		2,0	58,0	86,5		60 286
2	17,0		2,0	58,0	86,5	150,0	60 287
3	19,0		2,0	58,0	86,5	200,0	60 288
4	20,0		2,0	58,0	86,5	250,0	60 289
5	20,0		4,0	58,0	86,5	250,0	60 290
6	20,0		6,0	58,0	86,5	250,0	60 291
7	21,5		2,0	58,0	86,5	300,0	60 292

Рис. 6. Таблица фактов «Эксперименты»

Э-0000004 (Эксперименты) (1С:Предприятие)

Э-0000004 (Эксперименты)

Записать и закрыть | Записать | X Закрыть | Еще ▾

Наименование: 09.10.2020

Дата: 09.10.2020

Описание эксперимента:

Ответственный:

План работ на день:

Спектрометр:

Спектры | Файлы

Добавить | Скопировать

Порошок	Металл	Диэлектрик	Органика	Рабочий газ
СП-000005	Al	Al2O3	Меламин	Азот
СП-000005	Al	Al2O3	Меламин	Азот
СП-000005	Al	Al2O3	Меламин	Азот
СП-000005	Al	Al2O3	Меламин	Азот
СП-000005	Al	Al2O3	Меламин	Азот
СП-000005	Al	Al2O3	Меламин	Азот

Журнал наблюдений

Сформировать | Выбрать вариант... | Настройк... | Еще ▾

Отбор:

Порошок	Состав порошка: металл	Состав порошка: диэлектрик	Состав порошка: органика	Состав порошка: рабочий газ
СП-000001	Pd	Al2O3		Воздух
СП-000001	Pd	Al2O3		Воздух
СП-000001	Pd	Al2O3		Воздух
СП-000001	Pd	Al2O3		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух
СП-000002	Pd	SiO2		Воздух

Рис. 7. Результаты загрузки за период с 05.10.2010 по 09.10.2020

На рисунках 8 и 9 показана форма отчета для всех данных журнала экспериментов по следующим параметрам: дата, номер импульса, состав порошка: процент катализатора, состав порошка: диэлектрик, состав порошка: металл, состав порошка: органика, состав порошка: рабочий газ.

Каждый эксперимент содержит в себе неизменный набор характеристик гиротронного комплекса, привязанный к уникальному номеру СВЧ-импульса.

База данных экспериментов ИОФХ 1.0.02 (ИСПрезидент)

Журнал наблюдений

Сформировать | Выбрать вариант... | Настройки...

Дата: 19.10.2020

Номер импульса: 58 434

Состав порошка: процент катализатора: 5

Состав порошка: диэлектрик: AIN

Состав порошка: металл: Al

Состав порошка: органика: Метамин + карборан

Состав порошка: рабочий газ: Воздух

Дата	Эксперимент	Номер импульса	Мощность, кВт	Длительность, мс	Порошок	Состав порошка: металл	Состав порошка: диэлектрик	Состав порошка: органика	Состав порошка: рабочий газ	Состав порошка: процент катализатора
19.10.2020	3-0000007	58 577	250	4	СП-000025	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	10
19.10.2020	3-0000007	58 578	250	4	СП-000025	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	10
19.10.2020	3-0000007	58 579	250	4	СП-000025	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	10
19.10.2020	3-0000007	58 580	250	4	СП-000025	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	10
19.10.2020	3-0000007	58 581	250	4	СП-000025	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	10
19.10.2020	3-0000007	58 582	150	2	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 583	200	2	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 584	200	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 585	200	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 586	200	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 587	250	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 588	250	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 589	250	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 590	250	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5
19.10.2020	3-0000007	58 591	250	4	СП-000023	Pd	Ai2O3	Карборан	Азот	5

Рис. 8. Журнал наблюдений, отчет по дате

Журнал наблюдений

Сформировать | Выбрать вариант... | Настройки...

Дата: 16.10.2020

Номер импульса: 58 455

Состав порошка: процент катализатора: 5

Состав порошка: диэлектрик: AIN

Состав порошка: металл: Al

Состав порошка: органика: Метамин + карборан

Состав порошка: рабочий газ: Воздух

Дата	Эксперимент	Номер импульса	Мощность, кВт	Длительность, мс	Спектр	Порошок	Состав порошка: металл	Состав порошка: диэлектрик	Состав порошка: рабочий газ	Состав порошка: процент катализатора
16.10.2020	3-0000006	58 455	300	2	Нет	СП-000017	Pd	SiO2	Воздух	10

Рис. 9. Журнал наблюдений, отчет по номеру импульса

Эксперимент: 3-0000016

Добавить | | Еще

N	Напряжение анода	Реальная длительность импульса	Напряжение катода	Магнитное поле	Возникающая мощность	Номер импульса	Ток катода	Ток накала	Примечание
1	1,0	2,0	58,0	86,5		60 286	22,9	17,3	
2	17,0	2,0	58,0	86,5	150,0	60 287	24,3	17,3	
3	19,0	2,0	58,0	86,5	200,0	60 288	24,6	17,3	
4	20,0	2,0	58,0	86,5	250,0	60 289	24,6	17,3	
5	20,0	4,0	58,0	86,5	250,0	60 290	24,8	17,3	
6	20,0	6,0	58,0	86,5	250,0	60 291	24,7	17,3	
7	21,5	2,0	58,0	86,5	300,0	60 292	24,8	17,3	
8	21,5	4,0	58,0	86,5	300,0	60 293	21,5	17,3	

Рис. 10. Неизменный набор характеристик гиротронного комплекса (номер импульса выделен красной рамкой)

В настоящее время выполнены следующие требования:

- Созданная база данных реализована в виде одной информационной системе.
- Созданная база данных позволяет вести электронный журнал и управлять им без обращения к разработчику ПО.

- В созданной базе данных реализованы все типы данных, получаемых в ходе экспериментов на гиротроном комплексе.
- Созданная база данных позволяет пользователям добавлять новые типы данных и оборудования.

- Интерфейс созданной базы данных интуитивно понятен и приближен к формам традиционного журнала научного эксперимента.

- Созданная база данных обеспечивает возможность сохранения определенных данных в форматах: Word, Excell, png, jpeg.

- Созданная база данных функционирует на русском языке, включая программный код базы.

Заключение

В статье представлены основные результаты разработки информационной системы «База данных 1С» электронного журнала для плазмохимических исследований по синтезу материалов на специализированном стенде с мощным импульсным гиротроном ИОФ РАН. Описан экспериментальный цикл получения микро и наночастиц материалов при взаимодействии гиротронного излучения со смесью порошков металл-диэлектрик.

Выделены основные типы данных, необходимые для работы с экспериментом, его анализом и обработкой. Сформулированы основные требования к «Базе данных 1С» по сбору, хранению и обработке информации. Показано, что «База данных 1С» удовлетворяет этим требованиям. В результате проведенной работы создана «Программа для формирования базы параметров экспериментов синтеза микро- и наночастиц с контролируемым составом и структурой на основе микроволнового разряда в гиротронном излучении». Эта программа внедрена в работу научного коллектива гиротронного комплекса отдела физики плазмы ИОФ РАН. Программа успешно используется при выполнении работ по

плазмохимическому синтезу микро- и наночастиц.

*Работа выполнена в рамках госзадания
ГЗ БВ10–2022 «Изучение инновационного
синтеза микро- и наночастиц
с контролируемым составом и структурой
на основе микроволнового разряда
в гиротронном излучении»*

ЛИТЕРАТУРА

1. Akhmadullina N. S., Skvortsova N. N., Obratsova E. A., Stepakhin V. D., Konchekov E. M., Letunov A. A., Kononov A. A., Kargin Yu. F., Shishilov O. N. // Chem. Phys. 2019. Vol. 516. P. 63. <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2018.08.023>.
2. Batanov G. M., Borzosekov V. D., Golberg D., Iskhakova L. D., Kolik L. V., Konchekov E. M., Kharchev N. K., Letunov A. A., Malakhov D. V., Milovich F. O., Obratsova E. A., Petrov A. E., Ryabikina I. G., Sarkisian K. A., Stepakhin V. D., Skvortsova N. N. // J. Nanophoton. 2016. Vol. 10. P. 012520.
3. Kharchev N. K., Batanov G. M., Kolik L. V., Malakhov D. V., Petrov A. E., Sarkisyan K. A., Skvortsova N. N., Stepakhin V. D., Belousov V. I., Malygin S. A., Tai E. M. // Rev. Sci. Instrum. 2013. Vol. 84. P. 013507. <https://doi.org/10.1063/1.4773544>.
4. Skvortsova N. N., Stepakhin V. D., Sorokin A. A., Malakhov D. V., Gusein-zade N. G., Akhmadullina N. S., Borzosekov V. D., Voronova E. V., Shishilov O. N. // Materials. 2021. Vol. 14. P. 6472. <https://doi.org/10.3390/ma14216472>
5. Система сбора данных [Электронный ресурс] https://www.lcard.ru/lexicon/data_acquisition_system (дата обращения: 09.11.2020).
6. Козак А. К. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022660766 «Программа для формирования базы параметров экспериментов синтеза микро- и наночастиц с контролируемым составом и структурой на основе микроволнового разряда в гиротронном излучении», дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 июня 2022 г.

Electronic journal for the data of plasma-chemical synthesis of materials in microwave discharges initiated by the radiation of a pulsed gyrotron in mixtures of metals and dielectrics powders

A. K. Kozak, Z. A. Zakletsky, A. S. Sokolov, and N. N. Skvortsova

Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences
38 Vavilov st., Moscow, 119991, Russia
E-mail: yokary@inbox.ru

Received April 21, 2022

The program of the electronic journal for plasma chemical research on the synthesis of materials is presented at a specialized stand with a powerful pulsed gyrotron of the Institute of General Physics of the RAS. Based on the experimental cycle of 2019-2020 plasma chemical synthesis of micro and nanoparticles, a prototype of an electronic journal was created and the requirements for storing and processing information were formed for it. The prototype of the electronic magazine was developed on the 1C: Enterprise platform. The created program for the formation of a database of parameters of plasma chemical synthesis was successfully tested in the experimental sessions of 2020-2021.

Keywords: plasma chemistry, microwave discharge, gyrotron, data collection, database, 1C: Enterprise 8.3 platform.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-3-225-233

REFERENCES

1. N. S. Akhmadullina, N. N. Skvortsova, E. A. Obraztsova, V. D. Stepakhin, E. M. Konchekov, A. A. Letunov, A. A. Konovalov, Yu. F. Kargin, and O. N. Shishilov, *Chem. Phys.* **516**, 63 (2019).
<https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2018.08.023>.
2. G. M. Batanov, V. D. Borzosekov, D. Golberg, L. D. Iskhakova, L. V. Kolik, E. M. Konchekov, N. K. Kharchev, A. A. Letunov, D. V. Malakhov, F. O. Milovich, E. A. Obraztsova, A. E. Petrov, I. G. Ryabikina, K. A. Sarkisian, V. D. Stepakhin, and N. N. Skvortsova, *J. Nanophoton* **10**, 012520 (2016).
3. N. K. Kharchev, G. M. Batanov, L. V. Kolik, D. V. Malakhov, A. E. Petrov, K. A. Sarkisyan, N. N. Skvortsova, V. D. Stepakhin, V. I. Belousov, S. A. Malygin, and E. M. Tai, *Rev. Sci. Instrum.* **84**, 013507 (2013).
<https://doi.org/10.1063/1.4773544>.
4. N. N. Skvortsova, V. D. Stepakhin, A. A. Sorokin, D. V. Malakhov, N. G. Gusein-zade, N. S. Akhmadullina, V. D. Borzosekov, E. V. Voronova, and O. N. Shishilov, *Materials* **14**, 6472 (2021).
<https://doi.org/10.3390/ma14216472>
5. Data collection system [Electronic resource] https://www.lcard.ru/lexicon/data_acquisition_system (accessed: 09.11.2020).
6. A.K. Kozak Certificate of state registration of computer programs No. 2022660766 "Program for the formation of a database of parameters of experiments for the synthesis of micro- and nanoparticles with controlled composition and structure based on microwave discharge in gyrotron radiation", date of state registration in the Register of computer programs 08 June 2022.