

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОЕКТА МАЛОГАБАРИТНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

### DESIGN REVISION OF COMPACT MAGNETRON SPUTTERING FACILITY

И.Д.Шоничев / shonichevid@student.bmstu.ru

С.С.Серопян / seropyanss@student.bmstu.ru

Л.Л.Колесник / kolesnik@bmstu.ru

**I.D.Shonichev, S.S.Seropyan, L.L.Kolesnik**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

*В статье представлен проект малогабаритной установки магнетронного распыления. Приводятся конструкторские решения, внесенные в проект с целью повышения эргономичности эксплуатации и обслуживания установки. Описано применение системы автоматизированного проектирования.*

*The paper presents the design of compact magnetron sputtering facility. Improvements in ergonomics in design of facility are described. Experience with the application of automation design tools is given.*

*Ключевые слова: магнетронное распыление, малогабаритная установка*

*Keywords: magnetron sputtering, compact sputtering system*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для исследования тонкопленочных покрытий разработано множество методов микроскопического анализа: оптический, рентгеновский, электронный и т.д. Особую ценность в исследовании тонкопленочных микроструктур представляют сканирующие методы микроскопии, так как данные методы позволяют получить топографию поверхности. Для исследования диэлектрических образцов методом сканирующей туннельной микроскопии необходим поверхностный проводящий слой, обеспечивающий протекание туннельного тока. Кроме того, проводящий слой должен вносить минимальную погрешность в топологию поверхности. Ввиду требований к проводящему слою, как правило, исследуемый образец покрывается слоем золота толщиной порядка 100 нм. В данной статье описано проектирование малогабаритной установки металлизации диэлектрических образцов для лаборатории кафедры МТ11 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Основные этапы разработки проекта были выполнены в рамках выпускной квалификационной работы бакалавра Э.С. Якуповым в 2020 году [1]. В рамках ВКР был произведен анализ существующих малогабаритных установок, сформированы требования к проектируемой установке и выполнено оформление конструкторской документации. Дальнейшие работы с проектом были выполнены авторами в рамках НИР на кафедре МТ11 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ**

##### **Анализ компоновки вакуумной установки.**

Установка состоит из (рис. 1):

- 1) вакуумной камеры
- 2) стола, на котором размещается камера, в каркас стола устанавливается блок питания магнетрона, вакуумметры, блоки управления клапанами
- 3) внешнего оборудования: вакуумные насосы, газовое оборудование.

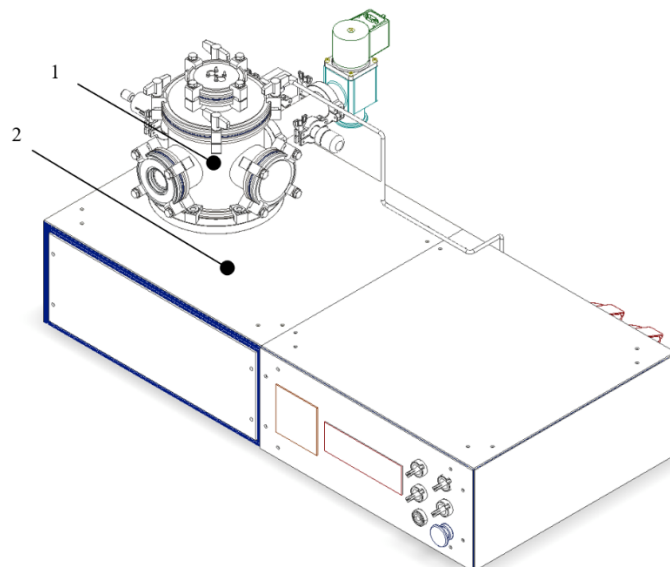


Рис.1. Модель установки магнетронного распыления.

Каркас установки выполнен из конструкционного профиля 30x15 мм и 15x15 мм, соединения выполнены уголками, которые фиксируются к поверхности профиля резьбовым соединением винта М3 ISO 7380-1 и гайки М3 DIN 934. Уголок фиксируется двумя винтами к каждому профилю, для данного размера профиля данное соединение является стандартным и обеспечивает высокую жесткость и прочность соединения. Пространство каркаса разделено на два отсека: отсек под установку блока питания магнетрона и отсек под установку электрики (см схему каркаса рис. 2).

Для считывания показания вакуумных датчиков и отображения давления используется МЕРАДАТ ВИТ. Вакуумные датчики тепловой и ионизационный. Вакуумные клапаны электромагнитные.

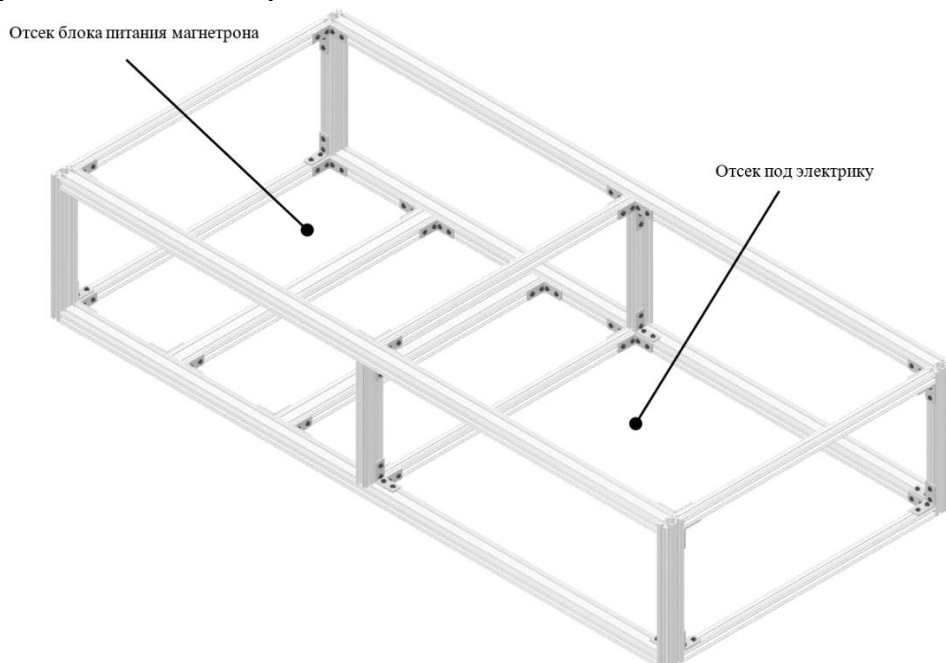


Рис.2. Модель каркаса установки.

#### **Модернизация проекта.**

Были предложены следующие изменения проекта:

1. Изменение размеров камеры

С целью ускорения откачки камеры и уменьшения габаритов камеры было принято решение изменить высоту цилиндра камеры с 150 мм до 125 мм. При данной высоте объем камеры составляет:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} = \frac{\pi \cdot 0,153^2 \cdot 0,125}{4} = 0,002297 \text{ м}^3 = 2,3 \text{ л.}$$

Исходный объем:

$$V_{\text{исх}} = 2,7 \text{ л.}$$

## 2. Изменение расположения магнетрона

Изначально магнетрон подключался к камере через верхний фланец ISO160-K через нестандартный переходник, состоящий из заглушки ISO160-K с отверстием, соединенной через патрубков с фланцем ISO63-K. Кроме того, через фланец ISO160-K, к которому осуществлялось подключение магнетрона выполнялась загрузка подложек в камеру. Для загрузки подложек магнетрон с переходником необходимо отсоединять от камеры, что является нежелательным ввиду риска повреждения коммуникаций, подключенных к магнетрону, а именно патрубков системы охлаждения, электрического ввода.

Для устранения данных недостатков изменили способ подключения магнетрона. Предложено следующее решение: подключить магнетрон к боковому фланцу ISO63-K камеры, ось которого перпендикулярна оси ввода вращения.

Вместо нестандартного переходника с магнетроном верхний фланец герметизируем стандартной заглушкой ISO160-K.

## 3. Изменение расположения ввода газа и фланца байпасной магистрали.

Из-за уменьшения высоты камеры расположение фланцев ISO40-KF байпасной магистрали и ISO16-KF ввода газа на одной образующей цилиндра камеры невозможно, поэтому принято решение перенести фланец под ввод газа на нижнюю заглушку ISO160-K, а фланец байпасной магистрали расположить на равном удалении от оснований цилиндра. Кроме того, перенос ввода газа на нижнюю заглушку позволит скрыть магистраль ввода газа и расположить регулятор расхода газа внутри каркаса установки.

## 4. Изменение расположения вакуумной камеры.

Ввиду изменения положения ввода газа расположение блока питания под камерой невозможно, поэтому принято решение расположить камеру над отсеком под электрику.

## 5. Изменение диаметра форвакуумной магистрали.

В процессе закупки вакуумной арматуры было принято решение изменить диаметр форвакуумной магистрали с DN40 на DN25, ввиду отсутствия рентабельного коммерческого предложения на электромагнитные клапаны ISO40-KF. Выбран клапан ISO25-KF, соответствующие диаметры подключаемой арматуры (крест, фланец камеры) изменены на DN25. Для подключения к форвакуумному насосу был выбран конический адаптер KF40-KF25.

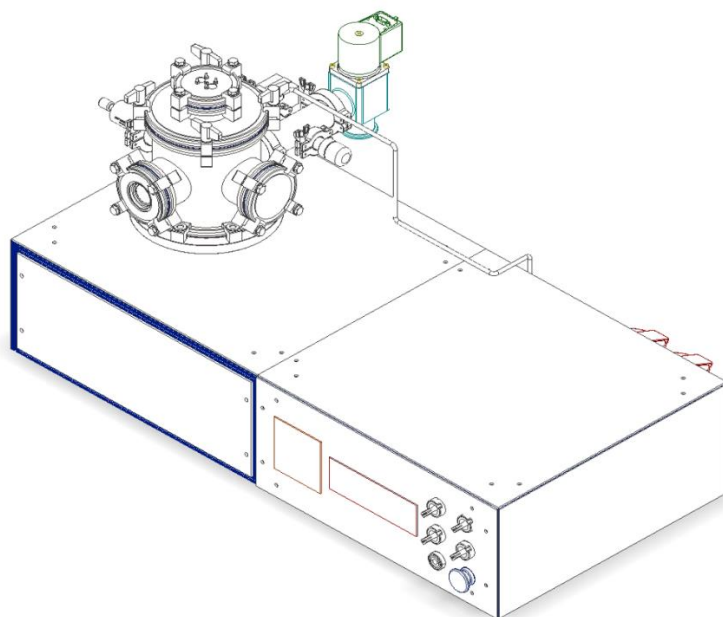


Рис. 3. Исходная 3d модель установки.

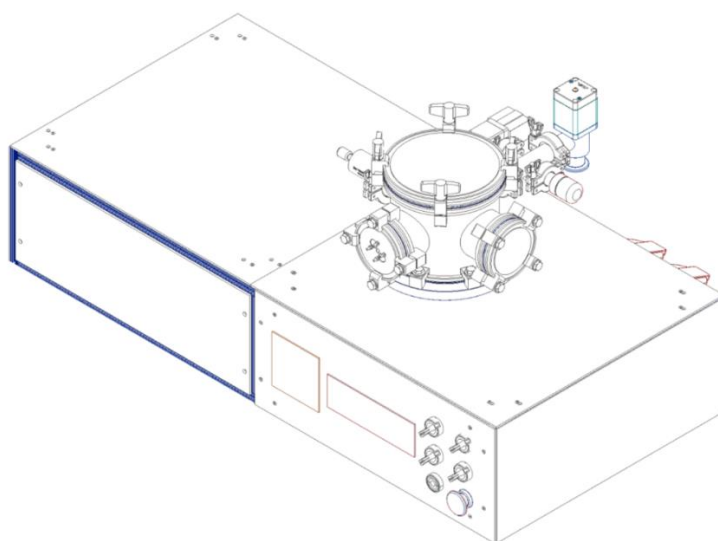


Рис. 4. 3d модель усовершенствованной установки.

### **Опыт работы с Autodesk Inventor Professional 2020.**

#### **1. Автоматизация проектирования**

Для упрощения и ускорения проектирования, а именно подбора оптимальной высоты камеры, была использована среда автоматизации проектирования iLogic программы Autodesk Inventor Professional 2020.

Для определения оптимального размера камеры высоте цилиндра камеры присвоен параметр. Для изменения параметра разработана форма в корневой сборке. Данное решение позволяет подобрать оптимальную высоту камеры, обеспечивающие поставленные требования и удобство сборки. Пример использования формы (рис. 5):

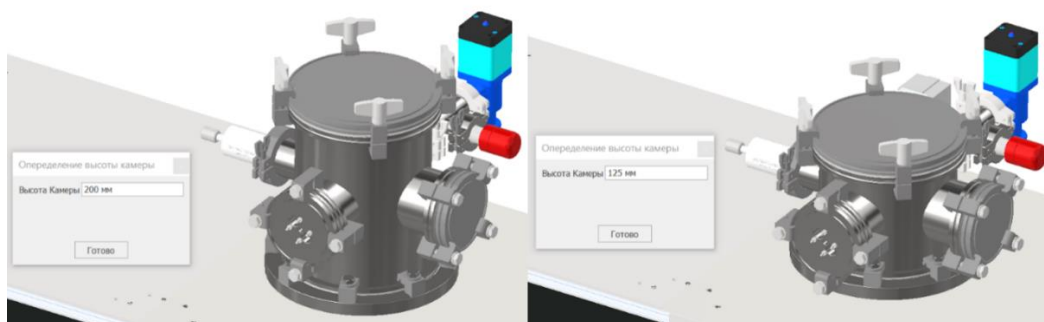


Рис. 5. Использование формы среды iLogic.

## 2. Восстановление утерянных при передаче CAD-файлов компонентов.

В программе Autodesk Inventor реализованы встроенные библиотеки стандартных компонентов (например: болты, винты, гайки, детали валов и т.д.). Использование моделей компонентов реализуется с помощью вставки моделей в сборку (файл расширения .aim). Возможна вставка библиотечного элемента как пользовательского элемента или как стандартного. При вставке элемента как пользовательского программа предлагает сохранить файл модели в любой папке, при этом сохраняется связь модели с параметрами библиотеки. При вставке элемента как стандартного файл модели сохраняется в папку программы по умолчанию, которая не совпадает с местом расположения файла пользовательской сборки и ее компонентов, поэтому при копировании и перемещении пользовательских файлов на другое устройство происходит потеря моделей стандартных компонентов. Возможно копирование моделей стандартных компонентов из папки по умолчанию, но при перемещении файлов необходимо восстановить ссылки на стандартные файлы в файле сборки. Для исключения потери моделей стандартных компонентов при перемещении файлов на другое устройство рекомендуется использовать пользовательскую вставку стандартных компонентов с сохранением их в каталоге с корневой сборкой (файл всей установки в сборе).

В полученных моделях отсутствовали модели стандартных компонентов ввиду описанных выше причин (рис. 6). Произведена замена компонентов и сохранение их моделей в каталоге файла корневой сборки.

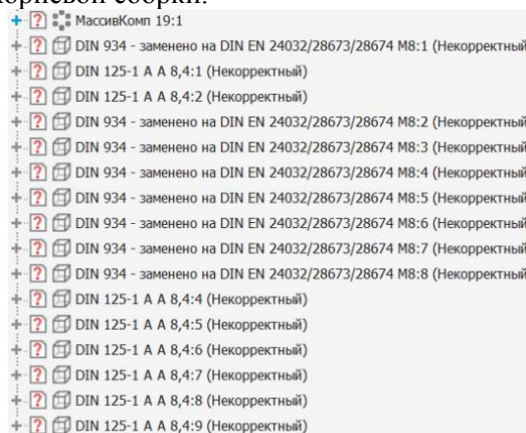


Рис. 6. Ошибки в дереве корневой сборки.

## 3. Организация компонентов корневой сборки.

Для повышения удобства работы с файлами и анализа конструкции выполнено разделение элементов корневой сборки на узлы, каждый из которых находится на соответствующем уровне вхождения в корневую сборку. Ниже представлены элементы первого и второго уровня, для сокращения дальнейшие уровни не представлены:

1. Установка в сборе (корневая сборка)
  - 1.1. Стол в сборе
    - 1.1.1. Каркас
    - 1.1.2. Оборудование
  - 1.2. MPC «Малютка»
    - 1.2.1. Нижний фланец ISO160-K
    - 1.2.2. Ввод газа
    - 1.2.3. Фланец ISO63-K
    - 1.2.4. Ввод вращения
    - 1.2.5. Магнетрон
    - 1.2.6. Камера в сборе
    - 1.2.7. Вакуумная арматура
    - 1.2.8. Нижний фланец ISO160-K

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При проектировании вакуумного технологического оборудования наравне с требованиями к работоспособности должны также предъявляться требования эргономичности и эстетичности. В результате работы с проектом малогабаритной установки в конструкцию внесены изменения, повышающие удобство обслуживания и эксплуатации оборудования. Также для проектирования использованы современные средства автоматизации, упрощающие и ускоряющие разработку проекта.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Якупов Э.С. Расчетно-пояснительная записка к выпускной квалификационной работе на тему: «Малогабаритная лабораторная установка для подготовки образцов к исследованию», МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020 г, 150 с.
2. Вакуумная техника: справочник / К.Е.Демихов, Ю.В.Панфилов, Н.К.Никулин и др.; под общ. ред. К.Е.Демихова, Ю.В.Панфилова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2009, 590 с.
3. Технология тонких пленок (справочник). Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. Под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко, «Сов. радио», 1977, 664 с.