нкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И.Ульянова (Ленина)

Выпускная квалификационная работа на тему:

# Разработка установки для создания тонких пленок методом ионного наслаивания

Студент группы 1281: Андронов Андрей Олегович
Руководитель: асп., асс. каф. МНЭ Матюшкин Лев Борисович
Работа выполнена в СПбГЭТУ «ЛЭТИ», каф. МНЭ, УНЛ «Наноматериалы»

Санкт-Петербург
2015 г.

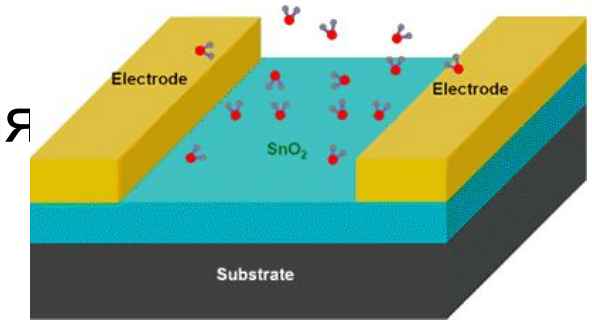
# Актуальность работы

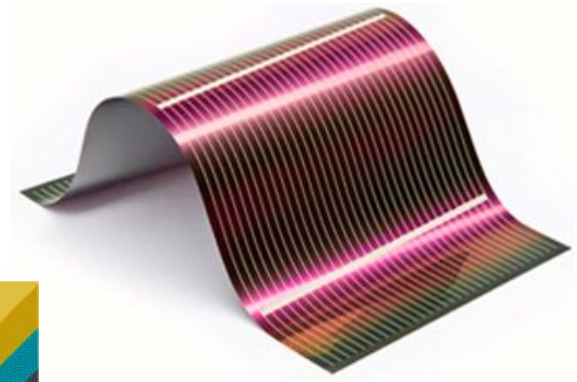
Особенности метода ионного наслаивания:

- Прецизионное регулирование толщины синтезируемого слоя
- Нанесение слоев на изделия сложной формы, больших размеров, в том числе на гибкие подложки
- Комнатная температура синтеза
- Использование простых в аппаратурном отношении автоматизированных установок

Применение в различных сферах:

- Газовые сенсоры
- Солнечные элементы
- Оптоэлектронные приборы
- Пассивирующие защитные покрытия на поверхности металлов



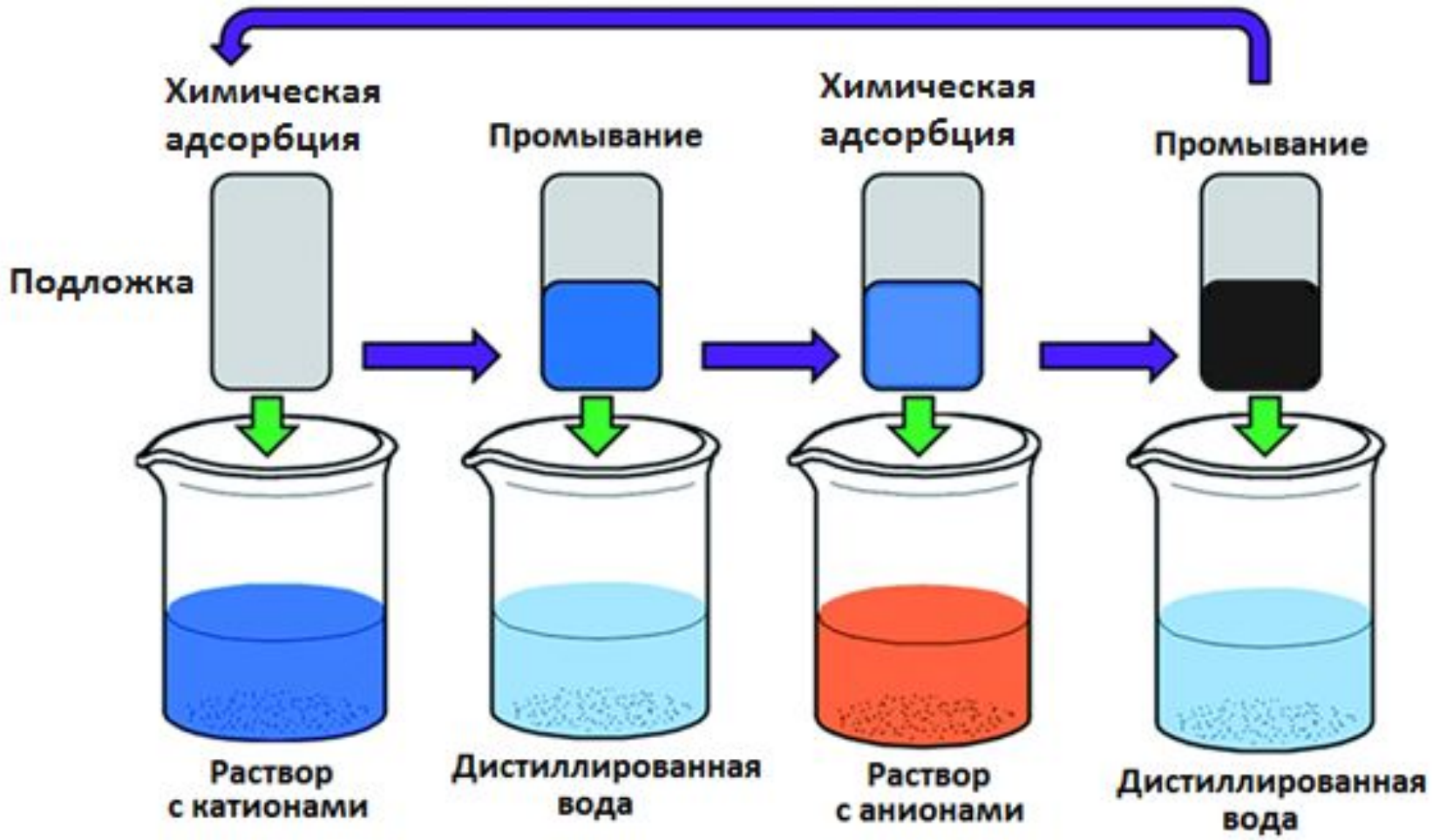
# Цель работы

Разработать автоматизированную установку для формирования тонкопленочных покрытий методом ионного наслаивания

# Задачи

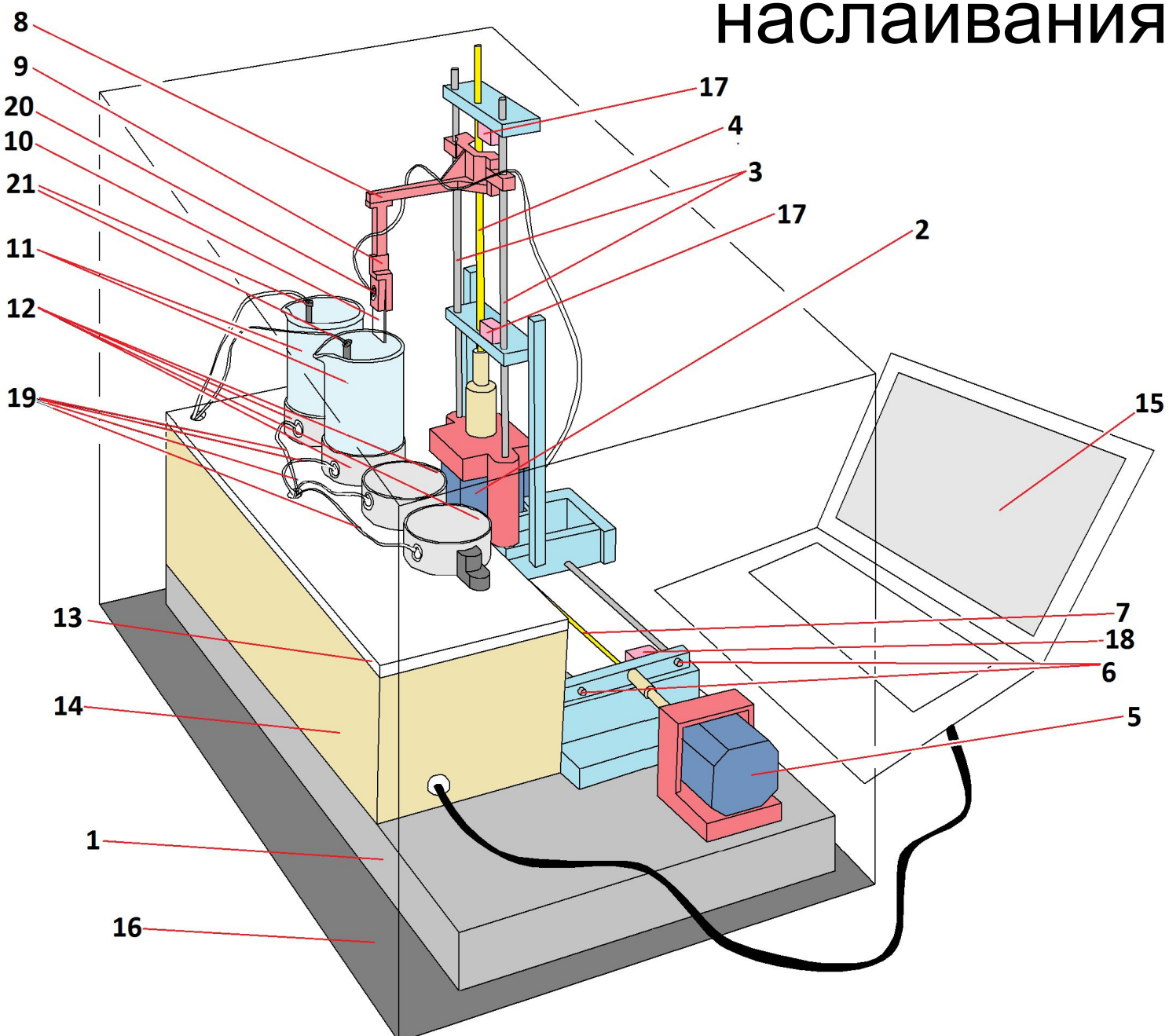
1. Создать блок управления электромеханической и термостатирующей частями установки.
2. Написать программное обеспечения в среде LabVIEW для управления технологическим процессом нанесения слоев.
3. Проверить работоспособность установки на примере получения тонких полупроводниковых пленок.

# Метод ионного наслаивания (SILAR, SILD)



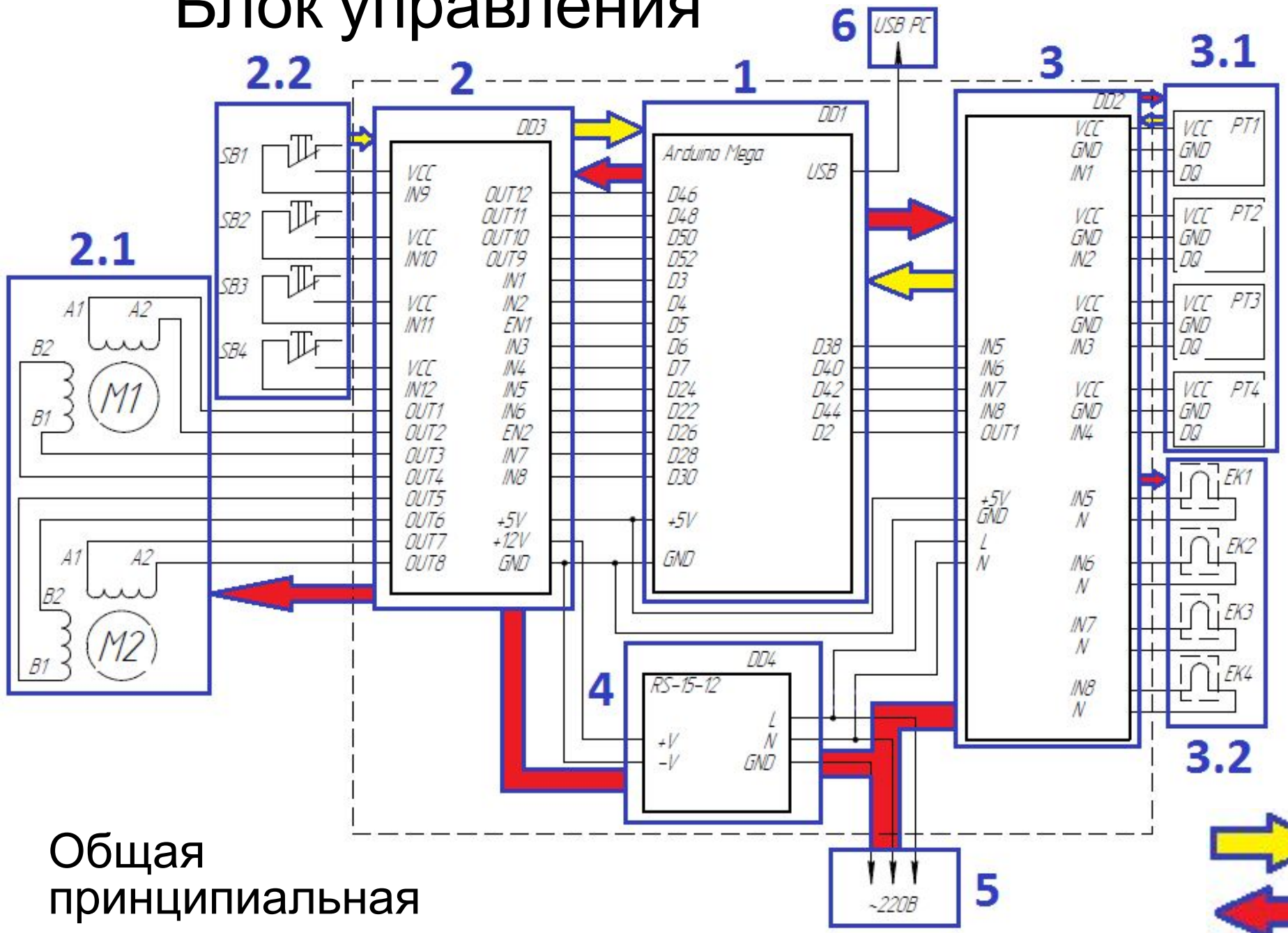

Метод основан на последовательных реакциях на границе раздела подложка/раствор

# Автоматизированная установка для ионного наслаивания




*1* – основание;
*2, 3, 4* – устройство вертикального перемещения;
*5, 6, 7* – устройство горизонтального перемещения;
*8, 9, 10* – держатель образца с закрепленным в нем образцом;
*11* – сосуды для жидкостей;
*12, 13* – сосуды закрепленные в нагревателях;
*14* – блок управления;
*15* – компьютер;
*16* – герметичный бокс;
*17, 18* – отслеживание положения образца;

# Блок управления




*1* – плата Arduino Mega;

*2* – плата управления шаговыми двигателями;

*2.1* – шаговые двигатели;

*2.2* – микро-переключатели;

*3* – плата термостатирования растворов;

*3.1* – термодатчики;

*3.2* – нагреватели;

*4* – источник питания;

*5* – сеть 220 В;

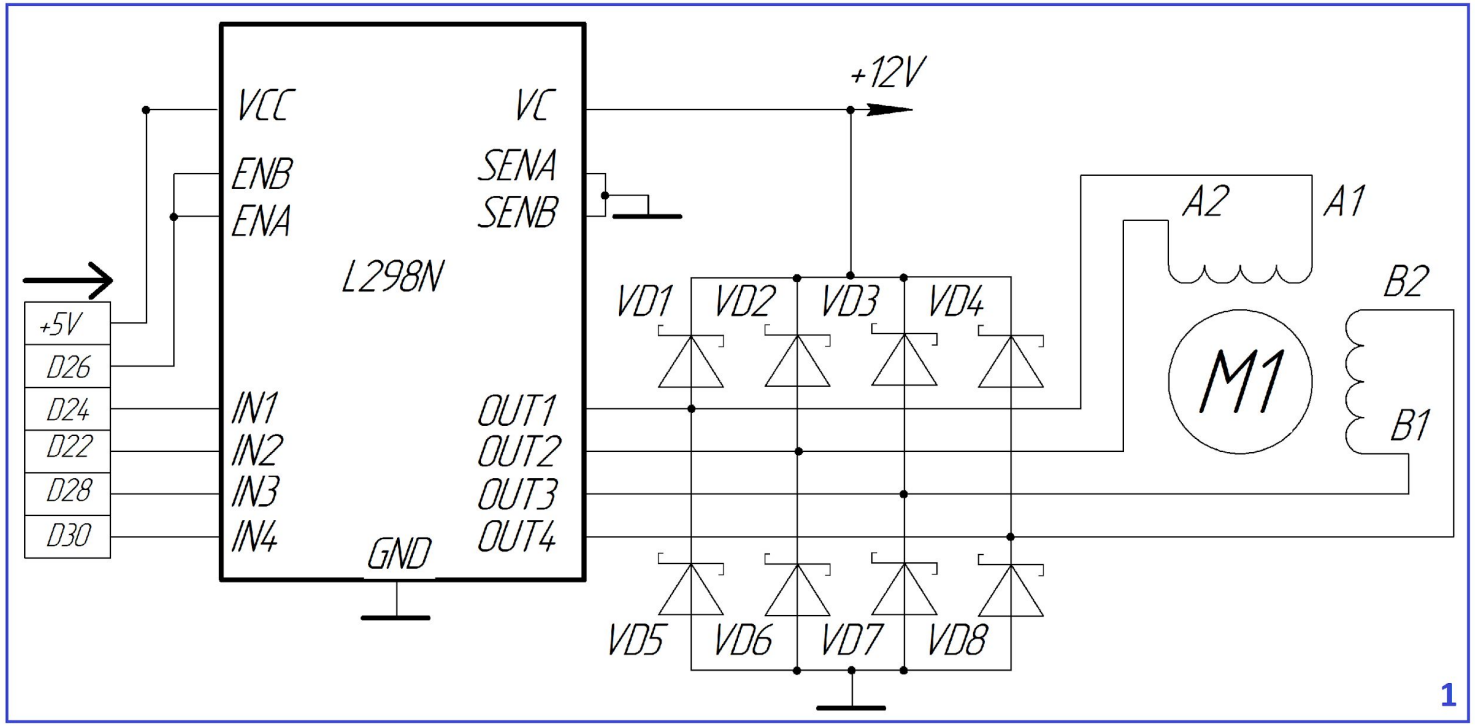
– USB порт

Принимаемые сигналы

Сигналы управления

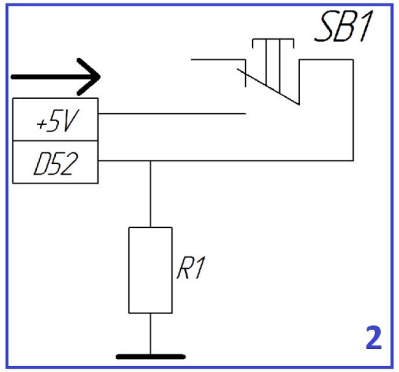
Общая принципиальная электрическая схема

# Плата управления шаговыми двигателями

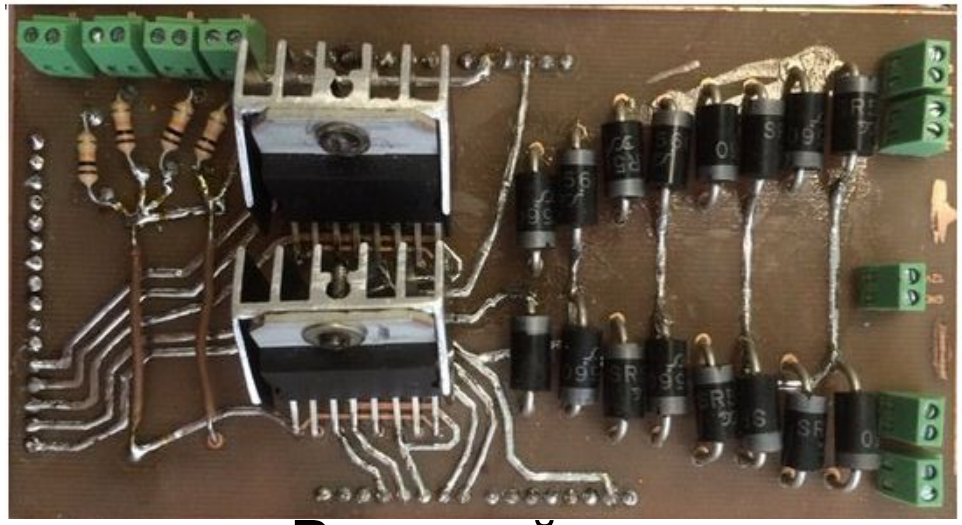



*1* – управление шаговым двигателем;

*2* – считывание сигнала с микропереключателя

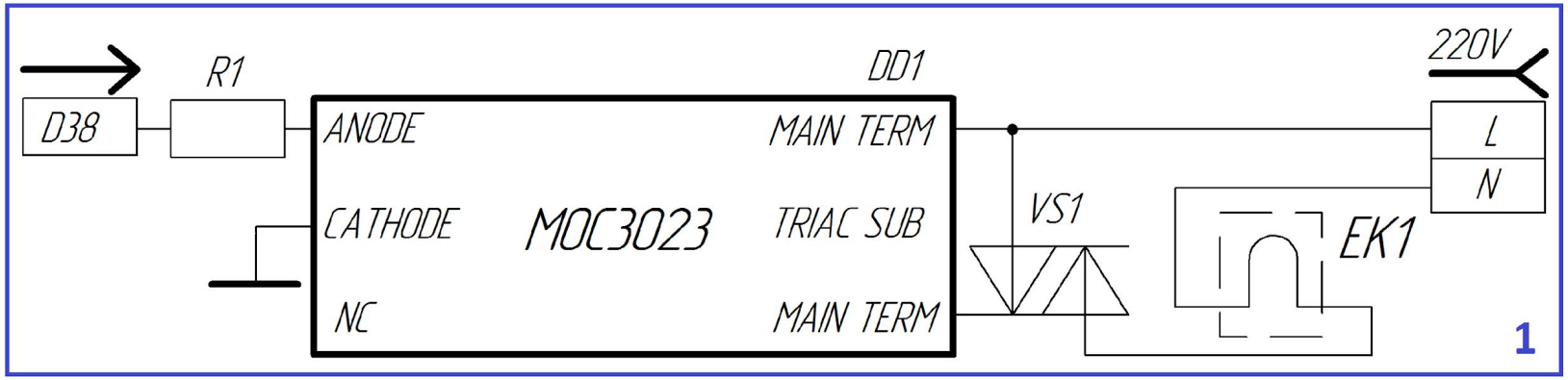


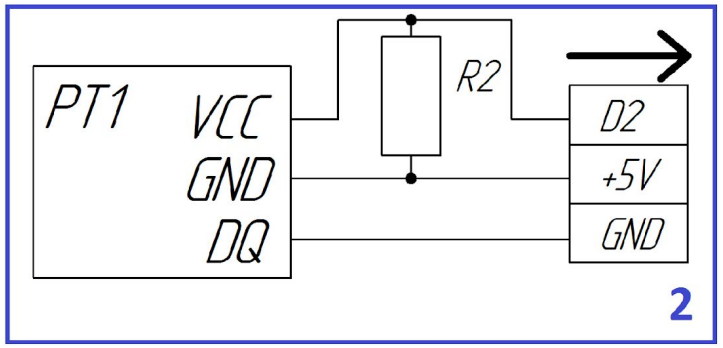

Принципиальная электрическая схема функциональных элементов платы управления шаговыми двигателями



Внешний вид печатной платы

# Плата термостатирования растворов



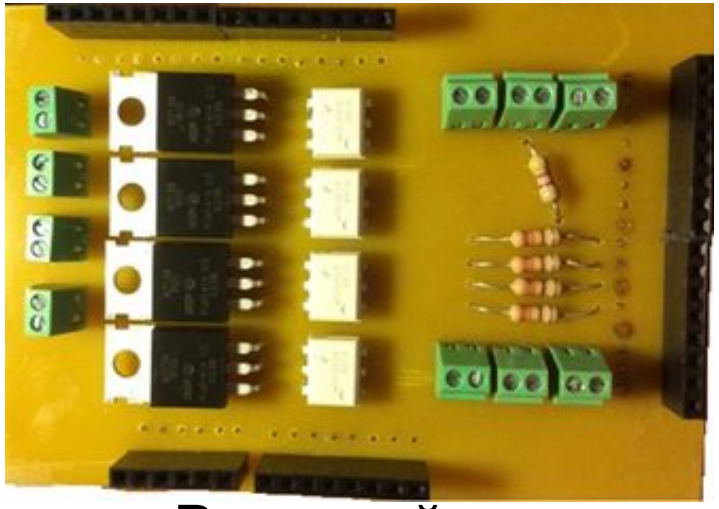




Принципиальная электрическая схема функциональных элементов платы термостатирования растворов

*1* – управление мощностью нагревателя

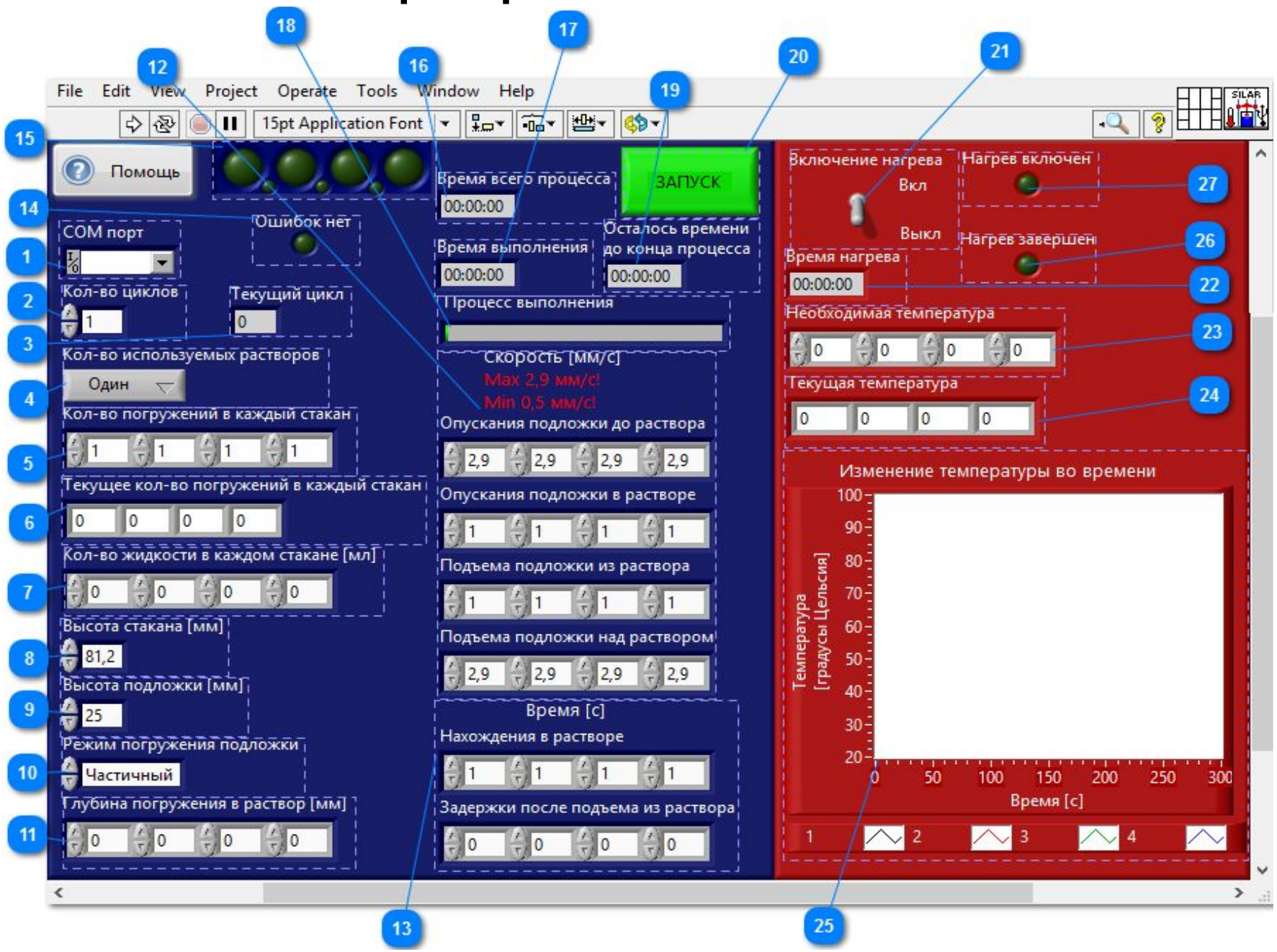
*2* – считывание значений температуры с термо-датчика

(использован принцип ПИД регуляции);



Внешний вид печатной платы

# Программное обеспечение




*2-11* – контроль пространственного расположения подложки;

*12* – контроль скоростей процесса;

*13* – контроль времен наслаивания;

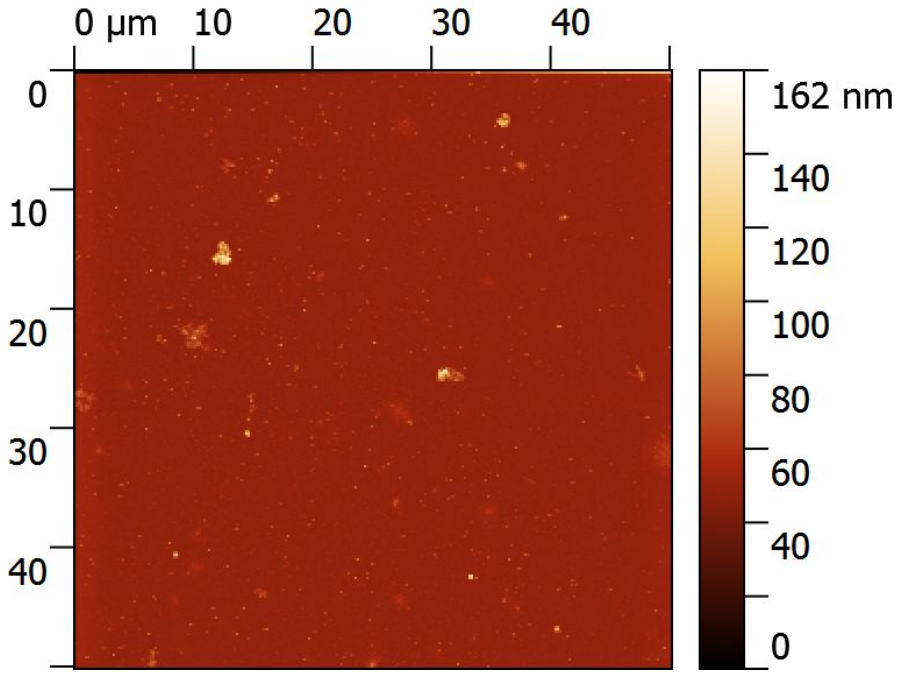
*16* – отображение времени всего процесса;

*17-19* – отображение законченности процесса;

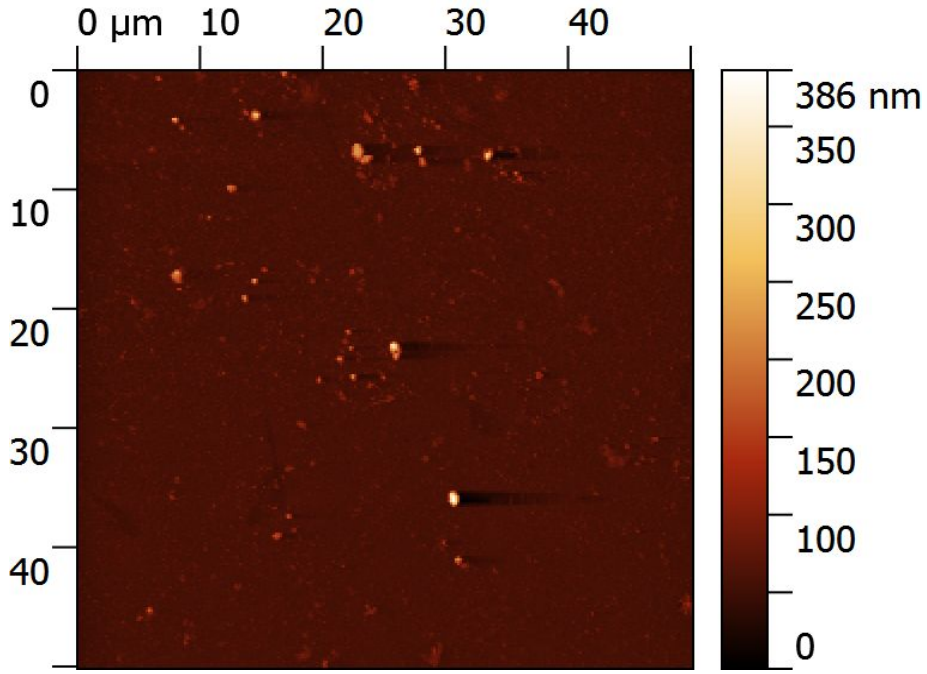
*21-27* – контроль температуры

# Получение тонких пленок CdS после 10, 20, 30 и 50 циклов

| Растворы в сосудах 1 и 3 | $CdCl_2$ | $Na_2S$ |
|---|---|---|
| Концентрация, М | 0,025 | 0,025 |
| Время обработки, с | 40 | 40 |
| Время промывки, с | 100 | 100 |
| Скорость подложки в растворе, мм/с | 1 | 1 |

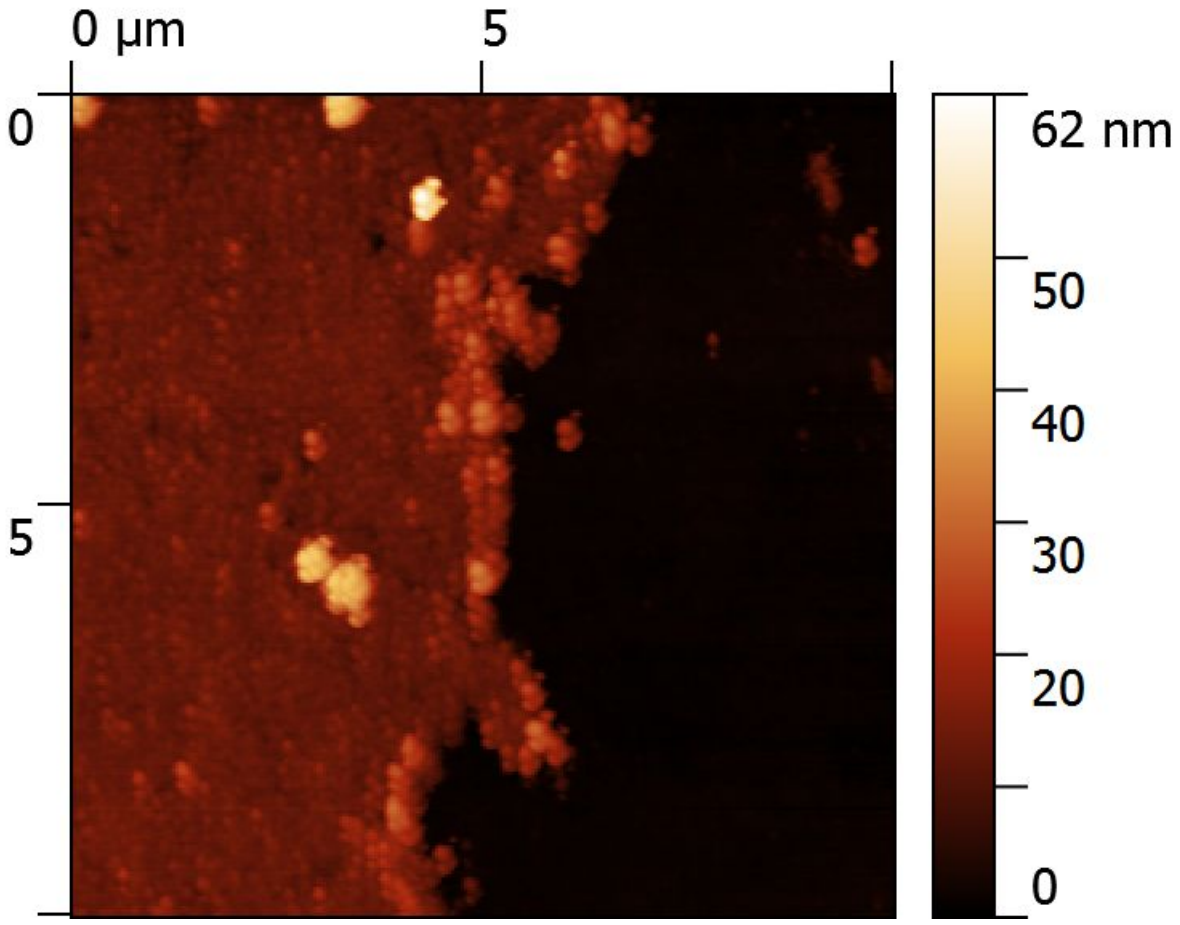



Топология пленки после 10 циклов (50x50 мкм)

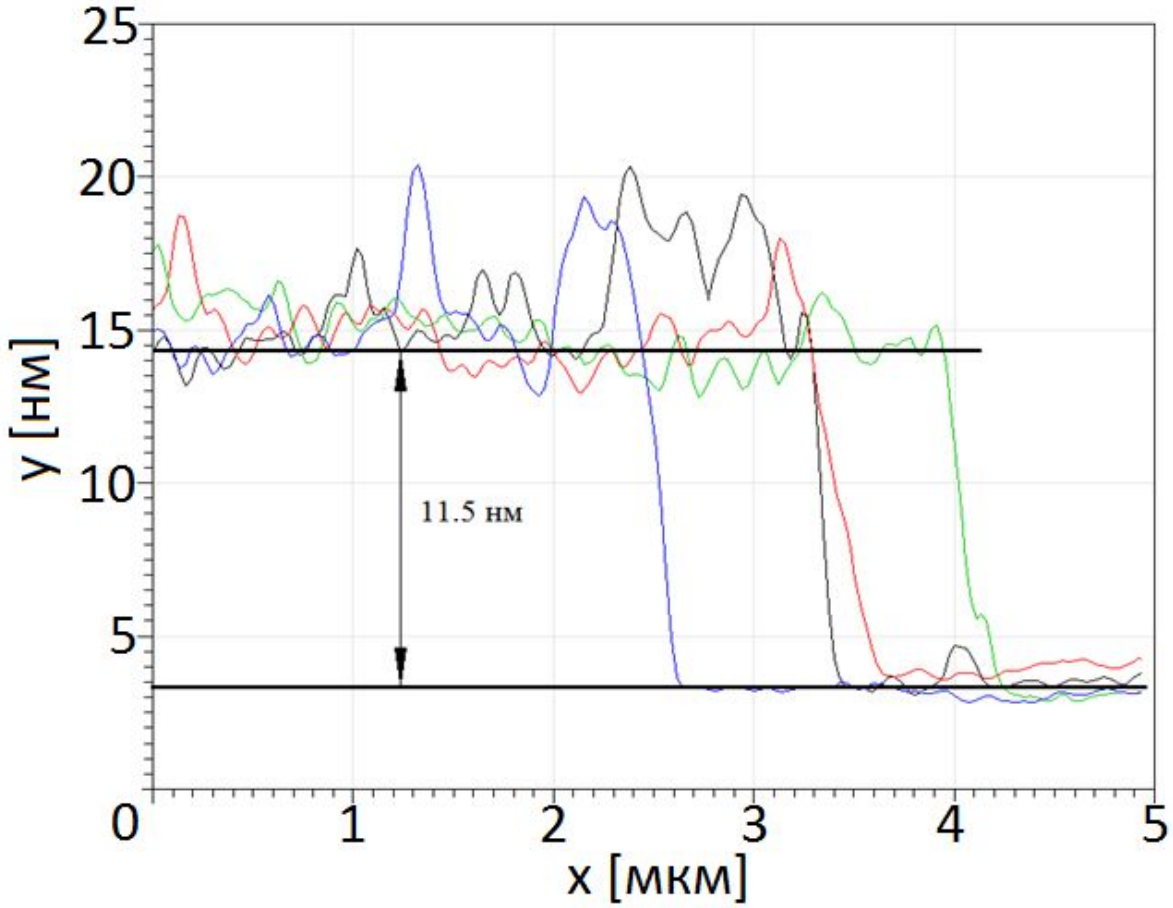



Топология пленки после 50 циклов (50x50 мкм)

# Измерение толщины пленки CdS после 30 циклов наслаивания

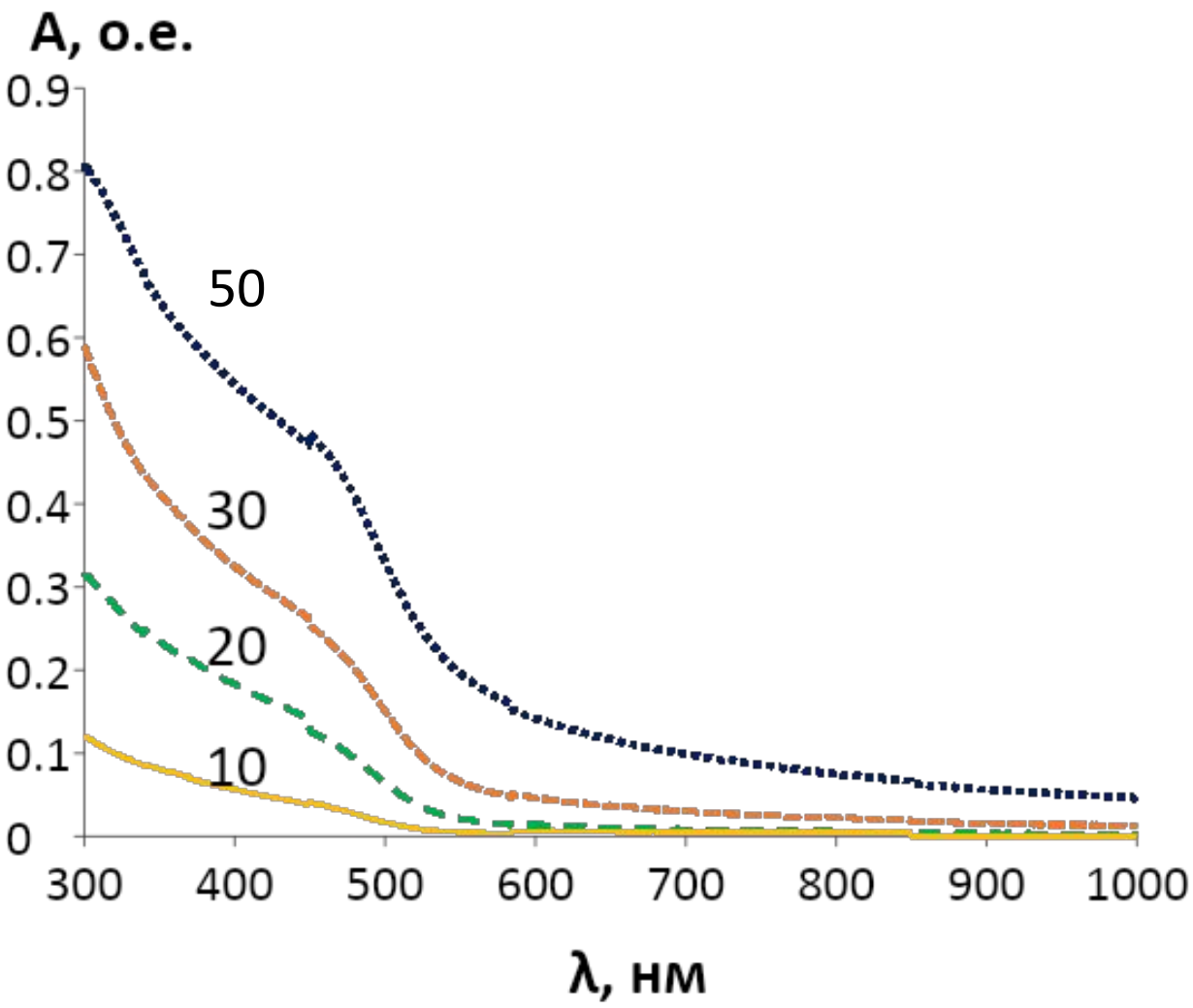



Топология границы травления образца (10x10 мкм)

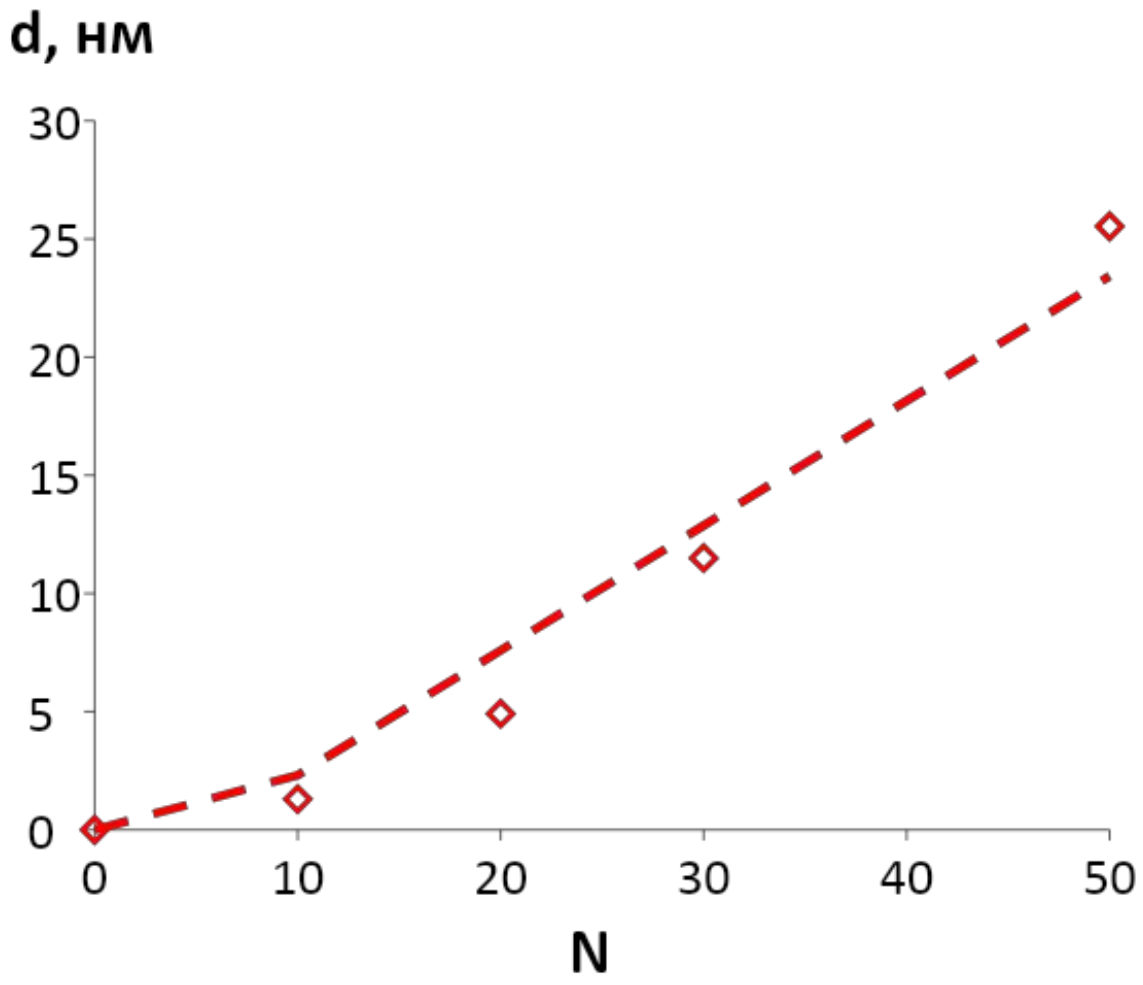



Профили пленки сульфида кадмия в различных точках границы травления

# Оптические свойства пленок

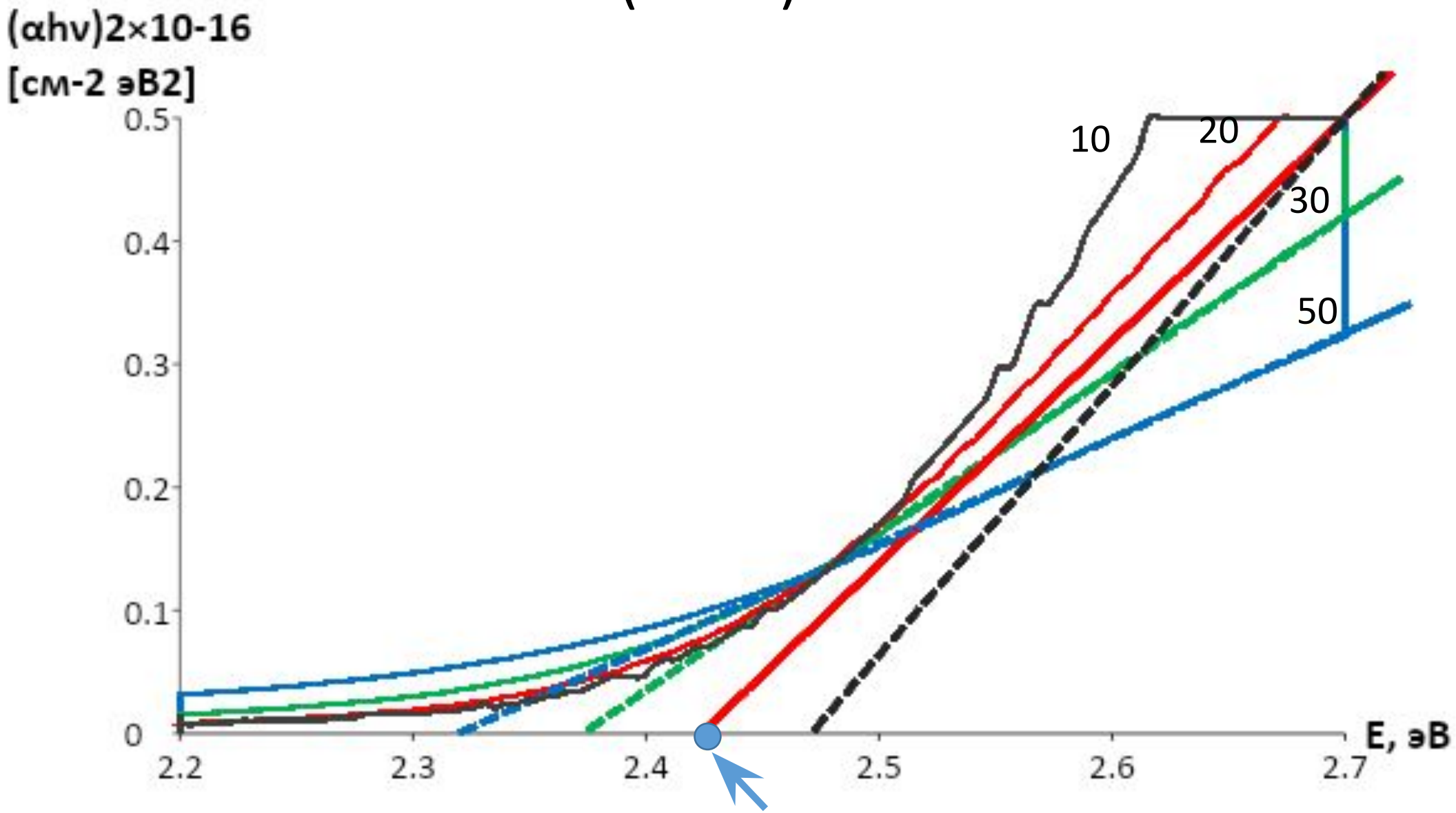



Спектры оптической плотности образцов




Зависимость толщины пленки от количества циклов нанесения

# Определение оптической ширины запрещенной зоны (ШЗЗ)



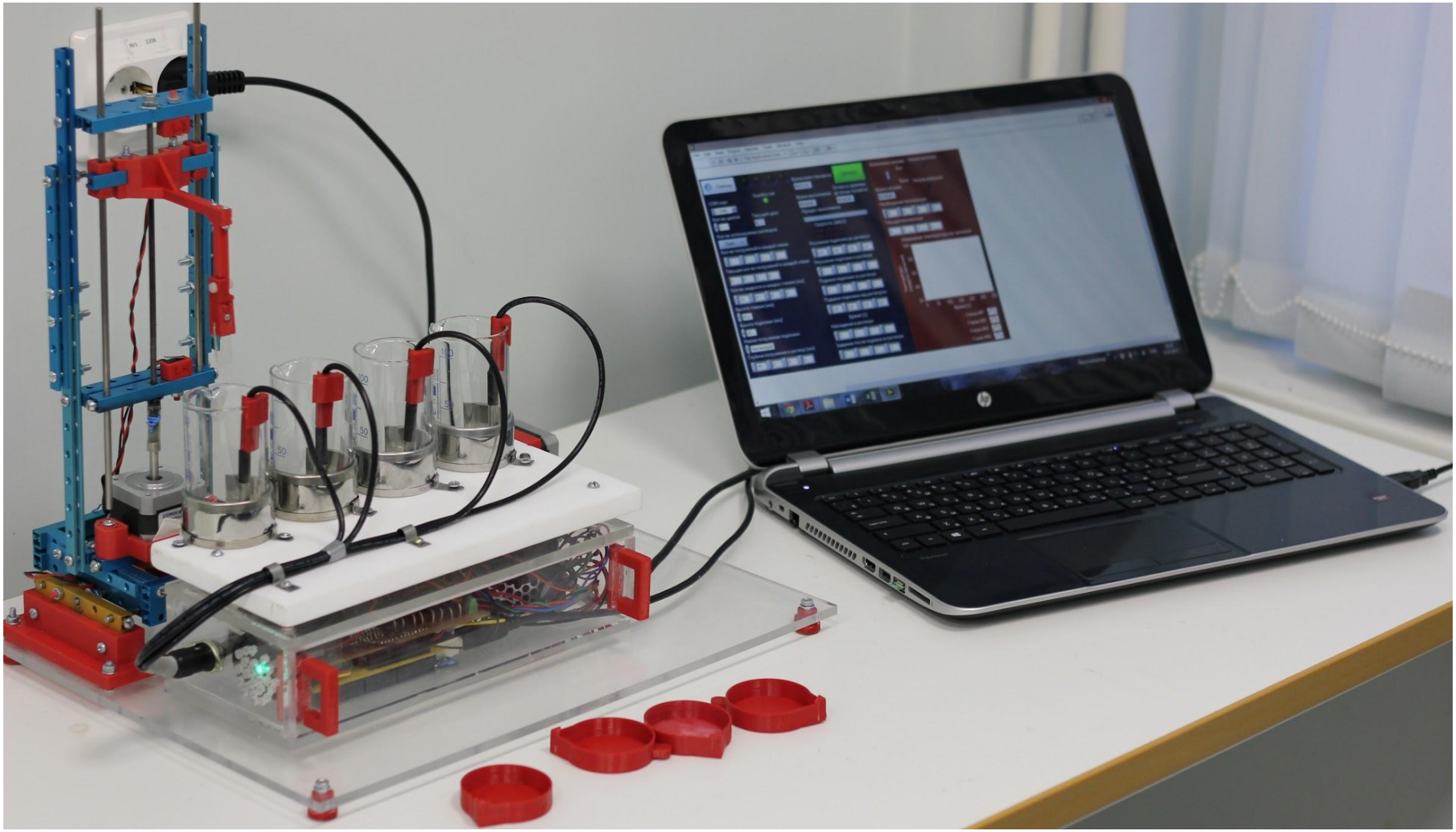

2,42 эВ ШЗЗ CdS

# Заключение

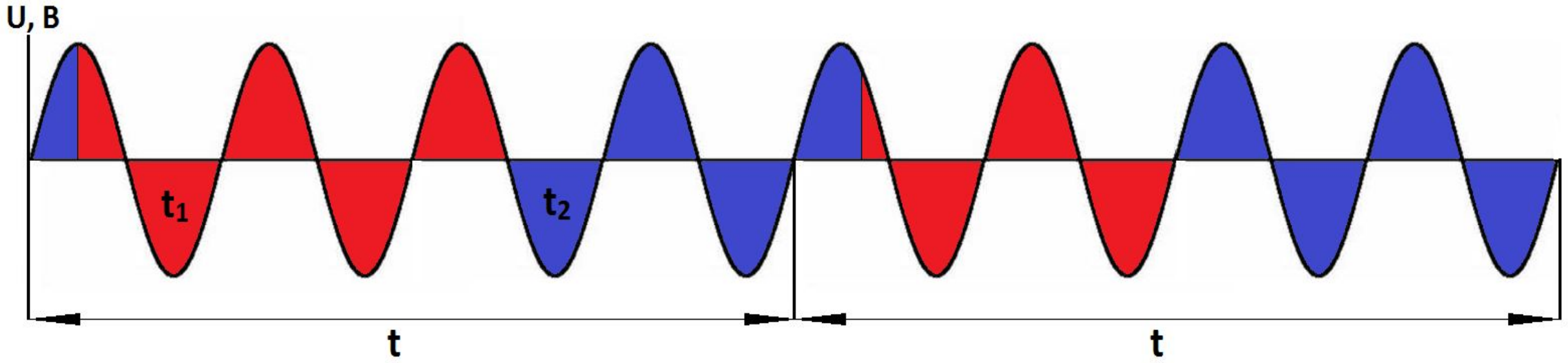
1. Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели установки:
   - точность позиционирования образца относительно реагентов – 8 мкм,
   - скорость перемещения подложки в растворе – от 0,5 до 2,9 мм/с,
   - предельный размер подложки – 30х35х2 мм$^3$,
   - диапазон термостатирования растворов – от 45 до 90 °С,
   - точность термостатирования ±3°С.
2. С помощью установки получены образцы после 10 – 50 циклов наслаивания, толщина пленок которых составляет от 1,3 нм до 25,5 нм.
3. Оптически определенная ширина запрещенной зоны полученных материалов лежит в диапазоне 2,32 эВ – 2,47 эВ.

Спасибо за внимание

# Внешний вид установки



# ПИД-регулятор

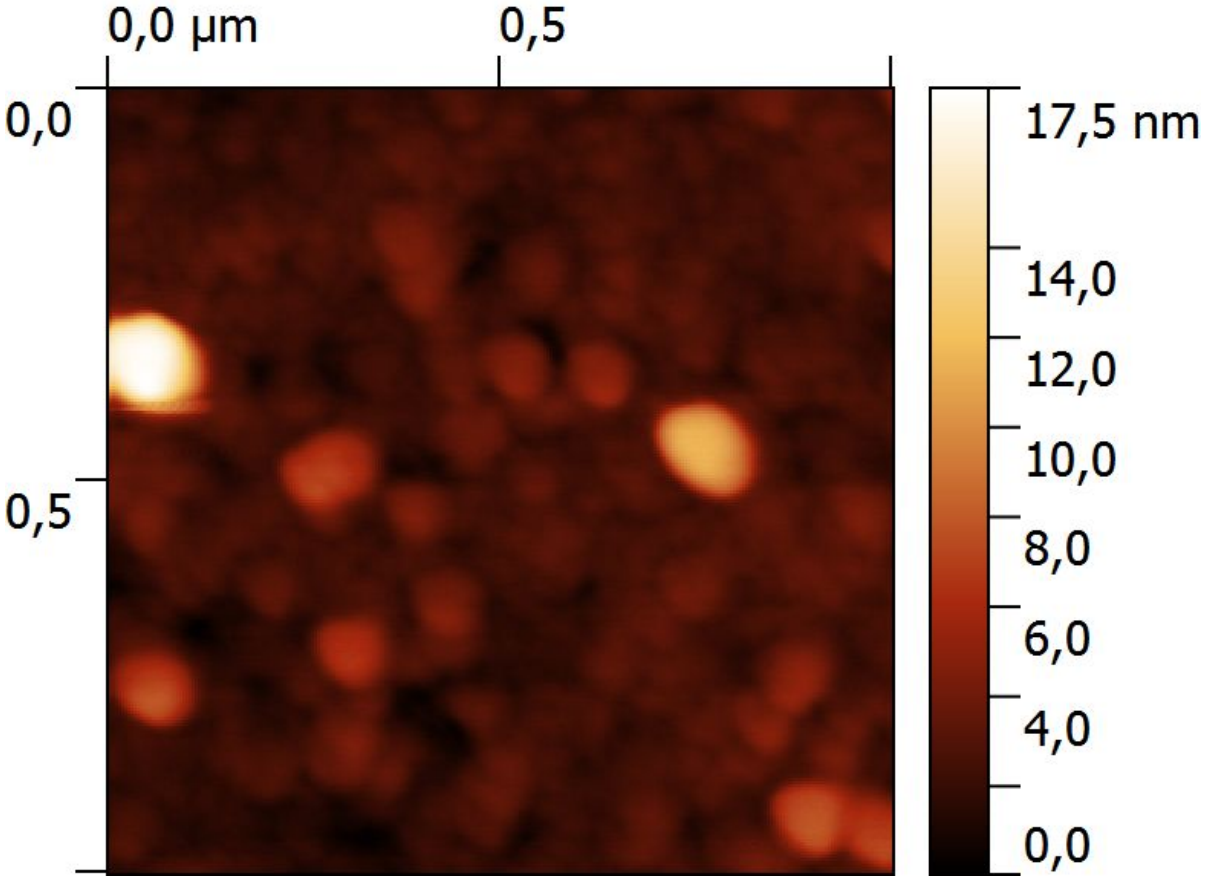



Управление мощностью, выделяемой нагревателем, осуществляется при изменении отношения времен включенного $t_1$ и выключенного состояния $t_2$ при одинаковом общем $t$ равном 0,5 с

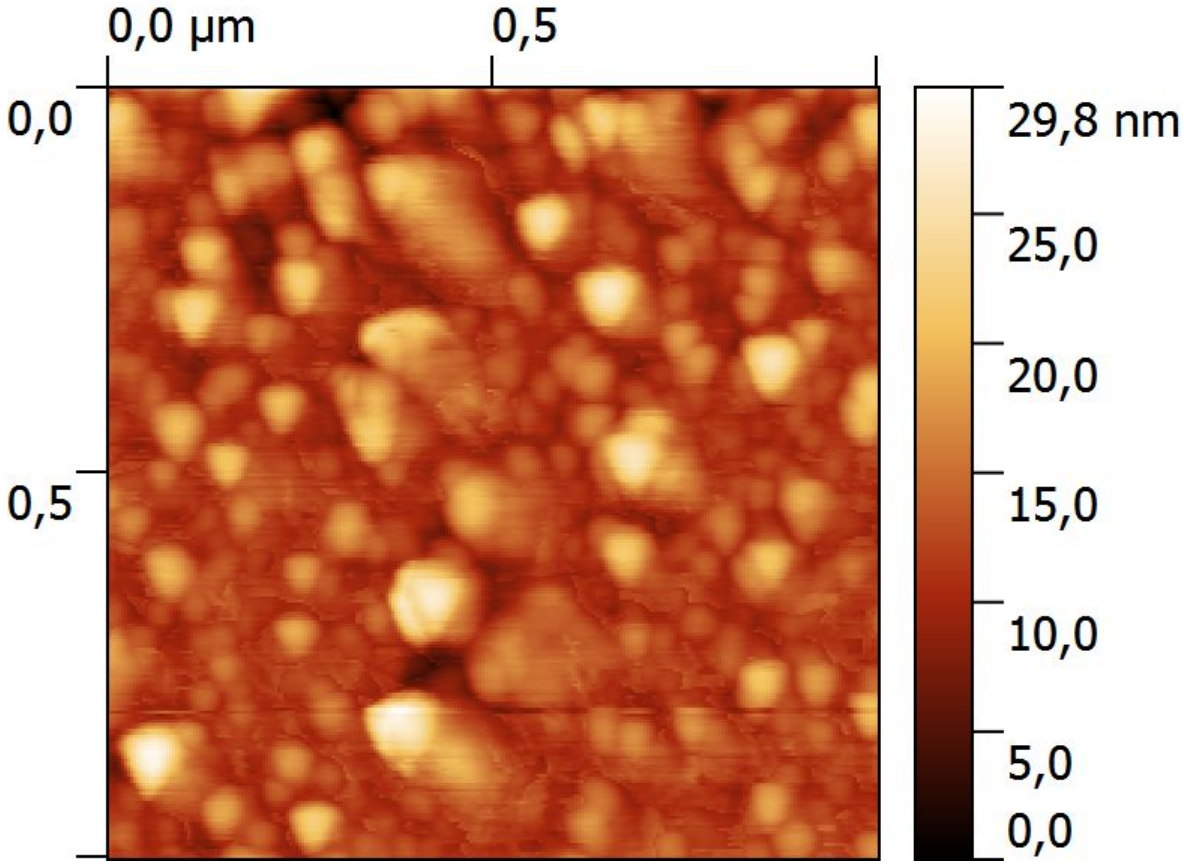
$$t_1 = P \cdot (T_z - T_t) + I \cdot \int_0^t (T_z - T_t)dt + D \cdot \frac{d(T_z - T_t)}{dt},$$

Формула для расчета времени во включенном состоянии

# Результаты АСМ-измерений




Топология пленки толщиной 1,3 нм после 10 циклов (1x1 мкм)




Топология пленки толщиной 25,5 нм после 50 циклов (1x1 мкм)