

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Исследование планарных структур с квантовыми точками**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

факультета нано- и биомедицинских технологий

Ковалева Руслана Михайловича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Глуховской Е.Г.  
фамилия, инициалы

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Михайлов А.И.  
фамилия, инициалы

Саратов 2017

## **Введение**

Если при уменьшении объема какого-либо вещества по одной, двум или трем координатам до размеров нанометрового масштаба возникает новое качество, или это качество возникает в композиции из таких объектов, то эти образования следует отнести к наноматериалам, а технологии их получения и дальнейшую работу с ними - к нанотехнологиям. Подавляющее большинство новых физических явлений на наномасштабах проистекает из волновой природы частиц (электронов и т.д.), поведение которых подчиняется законам квантовой механики. Проще всего это пояснить на примере полупроводников. Уменьшение размера частицы приводит к проявлению весьма необычных свойств материала, из которого она сделана. Причиной этого являются квантово-механические эффекты, возникающие при пространственном ограничении движения носителей заряда: энергия носителей в этом случае становится дискретной. А число уровней энергии, как учит квантовая механика, зависит от размера «потенциальной ямы», высоты потенциального барьера и массы носителя заряда. Увеличение размера «ямы» ведет к росту числа уровней энергии, которые при этом становятся все ближе друг к другу, пока не сольются, и энергетический спектр не станет «сплошным». Ограничить движение носителей заряда можно по одной координате (формируя квантовые пленки), по двум координатам (квантовые проволоки или нити) или по всем трем направлениям — это будут квантовые точки (КТ).

В связи с этим целью дипломной работы являлась отработка технологии создания контактов для сложных планарных структур, а также расширение спектра используемых наночастиц, создание и исследование оптических и электрических свойств слоистых структур, содержащих различные наночастицы в составе органической матрицы.

### **Цели и задачи бакалаврской работы:**

- Освоение метода фотолитографии (ФЛГ)

- Отработка технологии создания топологического рисунка методами ФЛГ:
  - ✓ Отработка способов нанесения фоторезиста
  - ✓ Отработка способов УФ-обработки и травления фоторезиста
- Получение тонких пленок методами и средствами технологии напыления
- Освоение методик нанесения квантовых точек на структуры с планарными контактами
- Освоение метода ВАХ (зондовой станции) для контроля проводимости получаемых структур

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В введении** описана актуальность темы исследования, раскрыта новизна работы, а так же сформированы цель и задачи исследования.

**В первой главе** произведён анализ литературы, посвященный освоению метода фотолитографии, описаны свойства и применения ФЛГ.

Также были рассмотрены основы получения тонких пленок методами напыления.

Затем были рассмотрены квантовые точки, их виды свойства

**Во второй главе** описана экспериментальная часть работы, в которой были проведены экспериментальные исследования и произведена обработка полученных результатов.

В современной фотолитографии появилось новое перспективное направление в разработке фоторезистов нового поколения, основанное на "формировании изображения в тонком слое фоторезиста". Идея метода состоит в том, что в тонком верхнем слое резиста формируется изображение, которое служит в качестве маски для переноса изображения в низлежащие слои при помощи реактивного ионного травления в кислородной плазме.

Толщина верхнего слоя может быть очень маленькой (около 20-100 нм), поэтому формируемое в нем изображение может обладать достаточно высоким разрешением.

Реактивное ионное травление, являясь анизотропным (иначе говоря, травление вглубь происходит значительно эффективнее, чем боковое травление), позволяет получить высокое аспектное соотношение, и рисунок переносится с высокой точностью.

Основные этапы технологии создания топологического рисунка:

1 Приготовить раствор для соли треххлористого железа в соляной кислоте (конц.) отмывания участков стекла от покрытия ИТО. На 1 часть соли взять 9 частей кислоты и растворить.

2 Подготовить шаблона рисунка :

3 Стекла с покрытием ИТО (размер 3\*1,5) залить хлороформом минут на 5 для очистки поверхности. Затем, вынимаем стекла из хлороформа, ждем полного высыхания.

4 Наносим фоторезист и пропускаем через ламинатор (утюг) для плотного сцепления фоторезиста с поверхностью стекла. Снимаем верхнюю пленку с фоторезиста.

5 Накладываем шаблон с рисунками на стекла, прижимаем сверху большим стеклом и выжигаем синей лампой (УФ) в течении 5 минут. В это время готовим раствор каустической соды. Берем 50 мл раствора каустической соды и растворяем в 200 мл воды (1:4). Когда стекла готовы, снимаем верхнюю пленку с фоторезиста.

6 Стекла с выжженными рисунками кладем в раствор каустической соды и воды на 5-10 минут и следим, как фоторезист начинает с краев отходить, вынимаем стекло из раствора с помощью пинцета и аккуратно счищаем с помощью безворсовой салфетки отделившуюся часть. Промываем стекла водой.

7 Опускаем стекла в раствор треххлористого железа с соляной кислотой и выдерживаем от 5 минут до 1 часа, периодически вынимая стекла пинцетом, промываем деионизованной водой. Затем, замеряем сопротивление участков с выжженным рисунком. Оно должно быть равно 1. Если значение сопротивления не устойчиво, то продолжаем

выдерживать в растворе соляной кислоты и соли железа до полного стравливания покрытия ИТО.

8. Стекла выдерживаем в хлороформе до полного растворения фоторезиста. Чистые стекла вынимаем из хлороформа, просушиваем и еще раз измеряем сопротивление участков рисунка, которое должно быть равным 1.

Формирование топологического рисунка и контроль качества травления

Материалы оснастки:

- Стекла с ИТО
- Фоторезист
- Раствор каустической соды и воды
- Раствор треххлористого железа с соляной кислотой
- Хлороформ



Рисунок 1 - Стекло с нанесенным фоторезистом

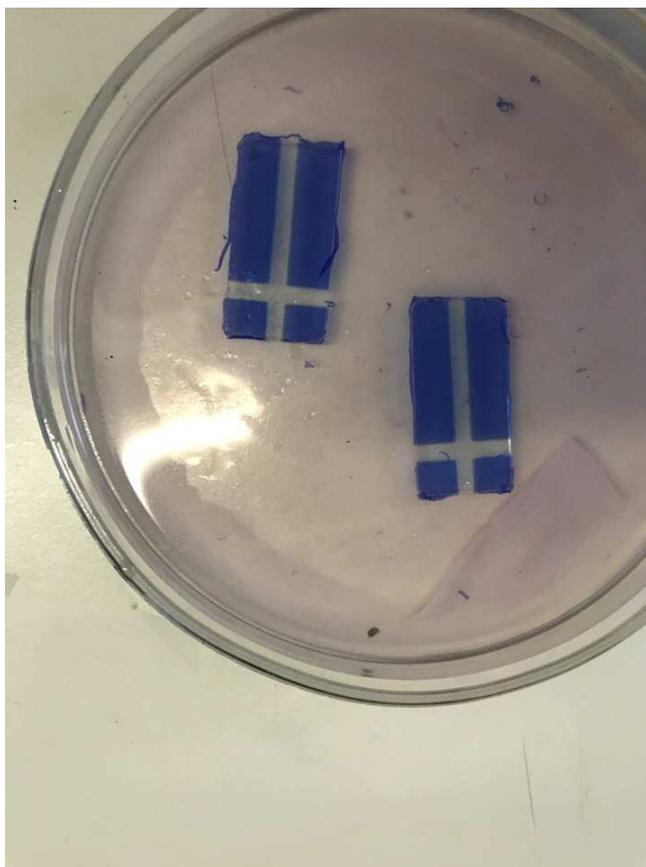


Рисунок 2 - Стекла с выжженными рисунками в растворе каустической соды и воды

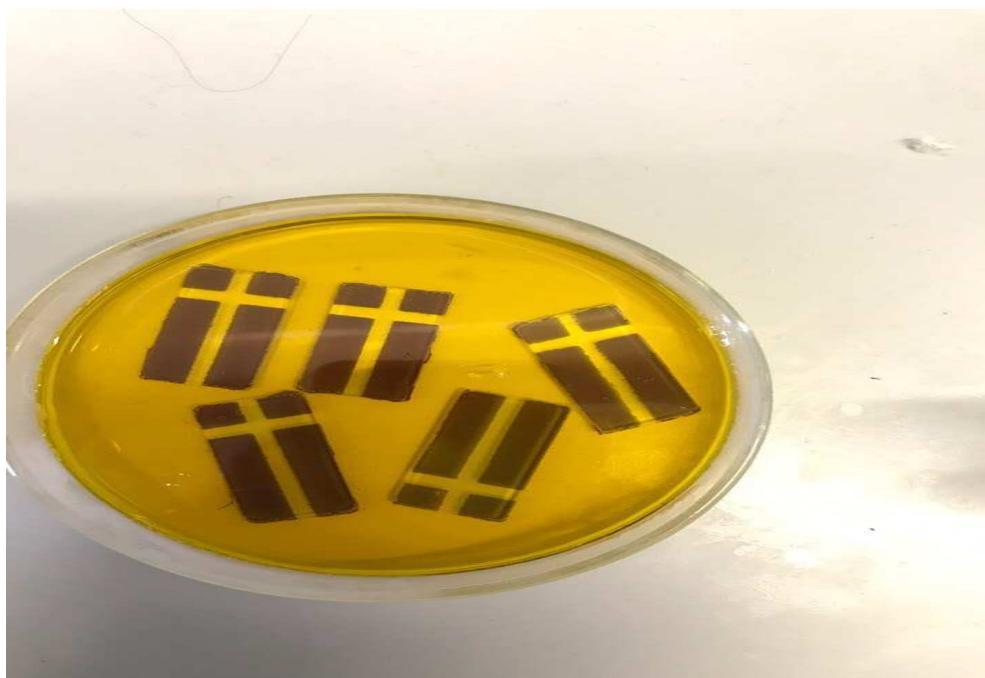


Рисунок 3 - Травление стекла в растворе треххлористого железа с соляной кислотой



Рисунок 4 - Стравленное стекло

Далее с полученных образцов были сняты ВАХ для дальнейшего анализа данных.

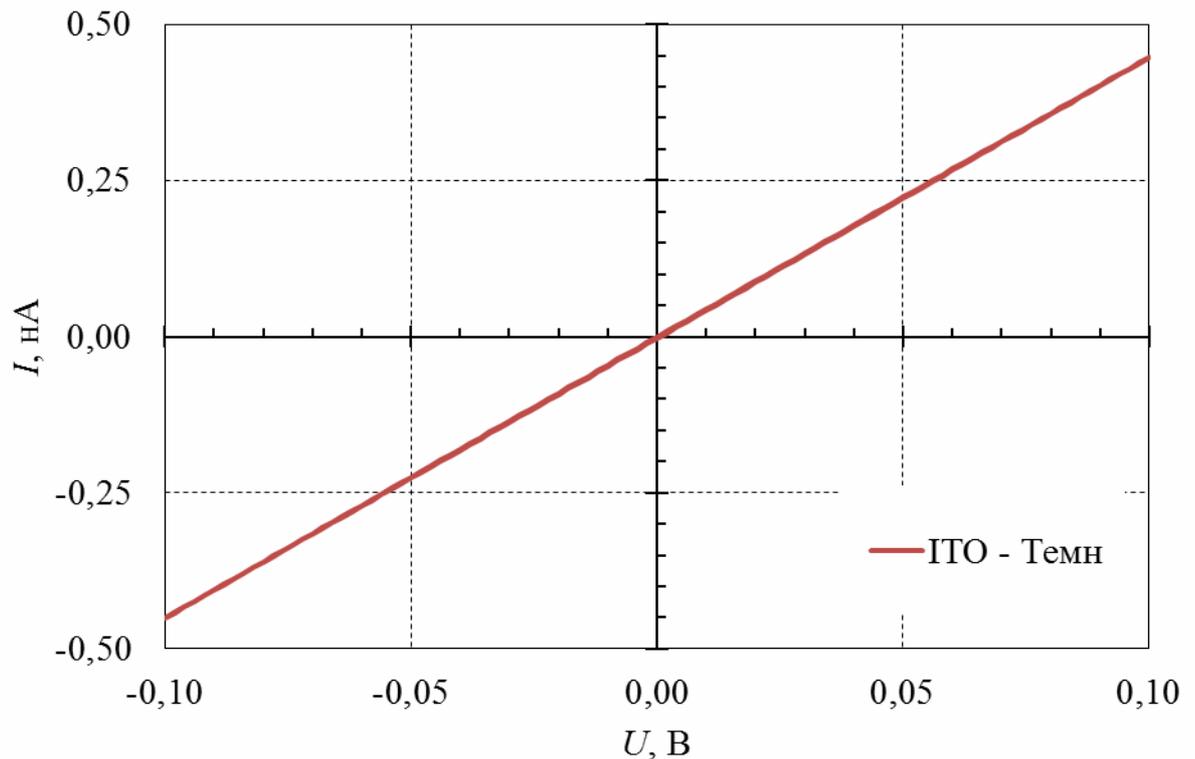


Рисунок 5 - ВАХ полученного образца с нанесенным фоторезистом

### 1.1 Процесс напыления

Подготовка образцов:

- 1 Ознакомиться с инструкцией к установке Emitech K450 для напыления углеродного наноразмерного проводящего покрытия.
- 2 Закрепить образцы на держателях с помощью двусторонней проводящей клейкой ленты.
- 3 Отрезать углеродную нить необходимой длины, дающей возможность закрепить ее между двумя электродами.
- 4 Поместить держатели с образцами в камеру для напыления.
- 5 Закрывать камеру, провести откачку воздуха в камере до давления  $10^{-2}$  мбар и произвести отжиг нити в течение 1 минуты, пропуская через нее ток. При этом нить должна начать краснеть из за нагрева
- 6 Произвести напыление.

7 Произвести развакуумирование в соответствии с инструкцией к установке, достать держатели с образцами из камеры.

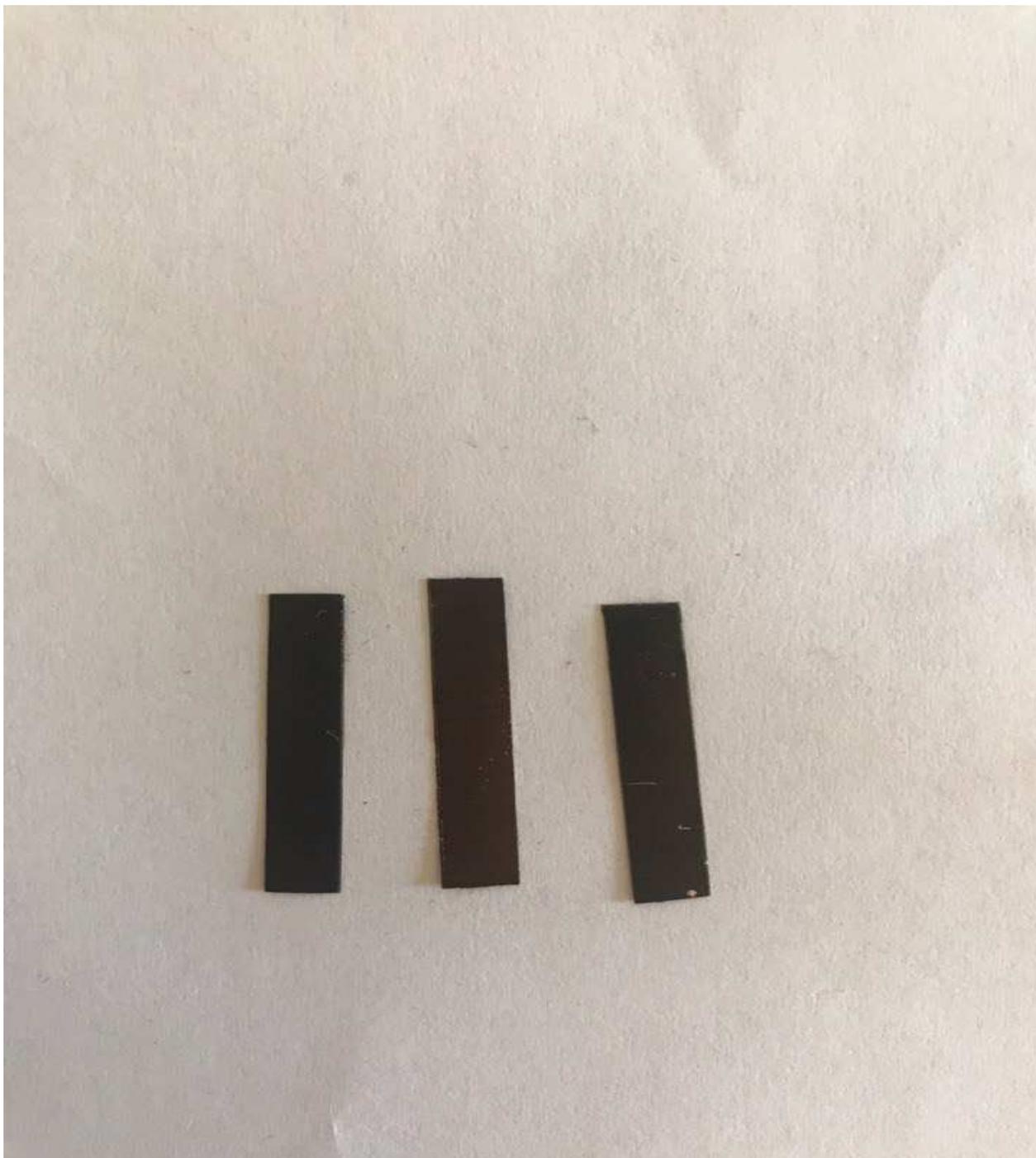


Рисунок 6 – образцы с напыленным слоем углерода

## **1.2 Нанесение квантовых точек на подготовленные образцы**

Нанесение квантовых точек на подготовленные образцы производилось на установке KSV Nima, изображенная на рисунке

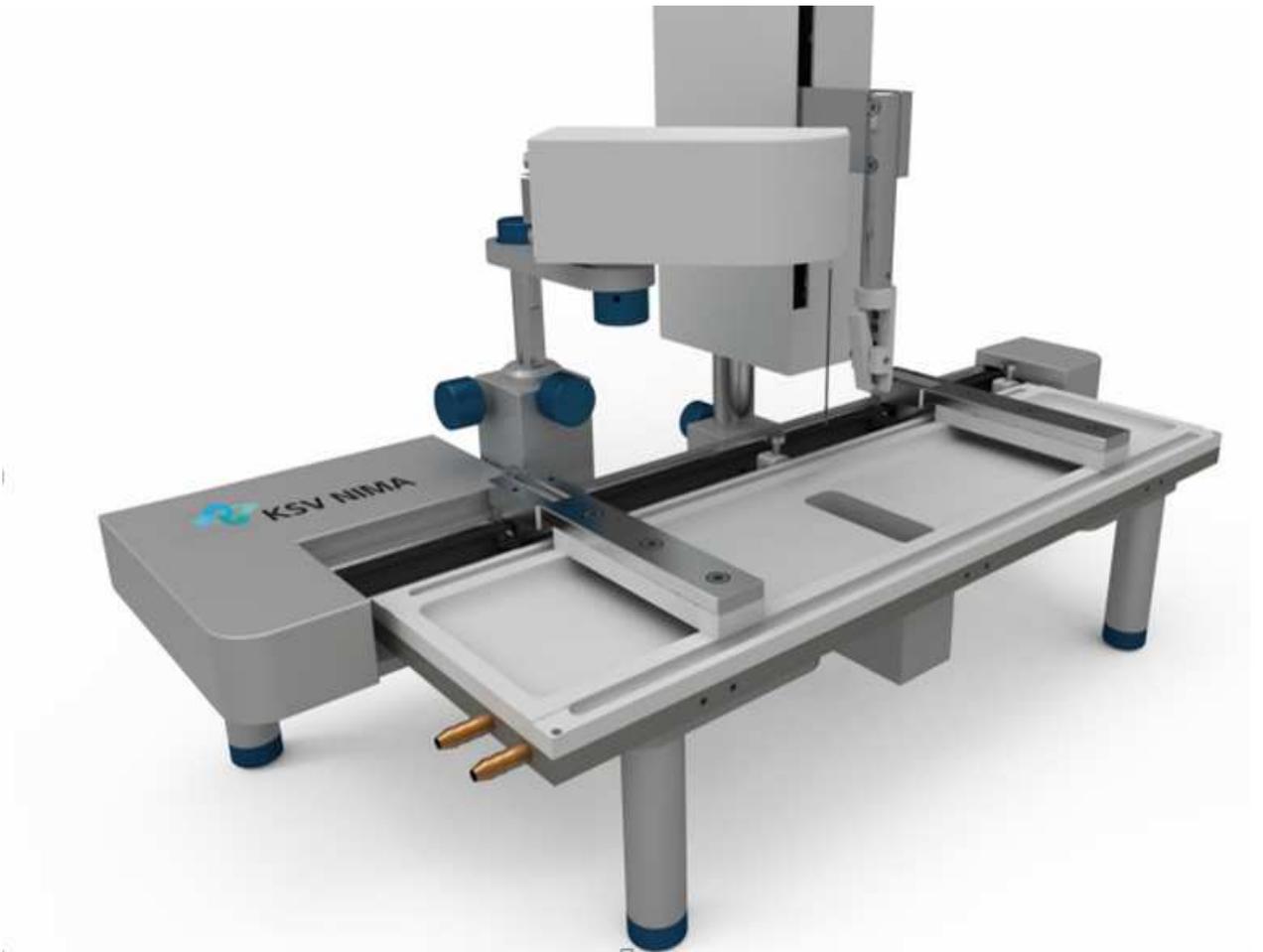


Рисунок 7 - Установка для нанесения квантовых точек

Наносились квантовые точки CdSe до 4 нм.

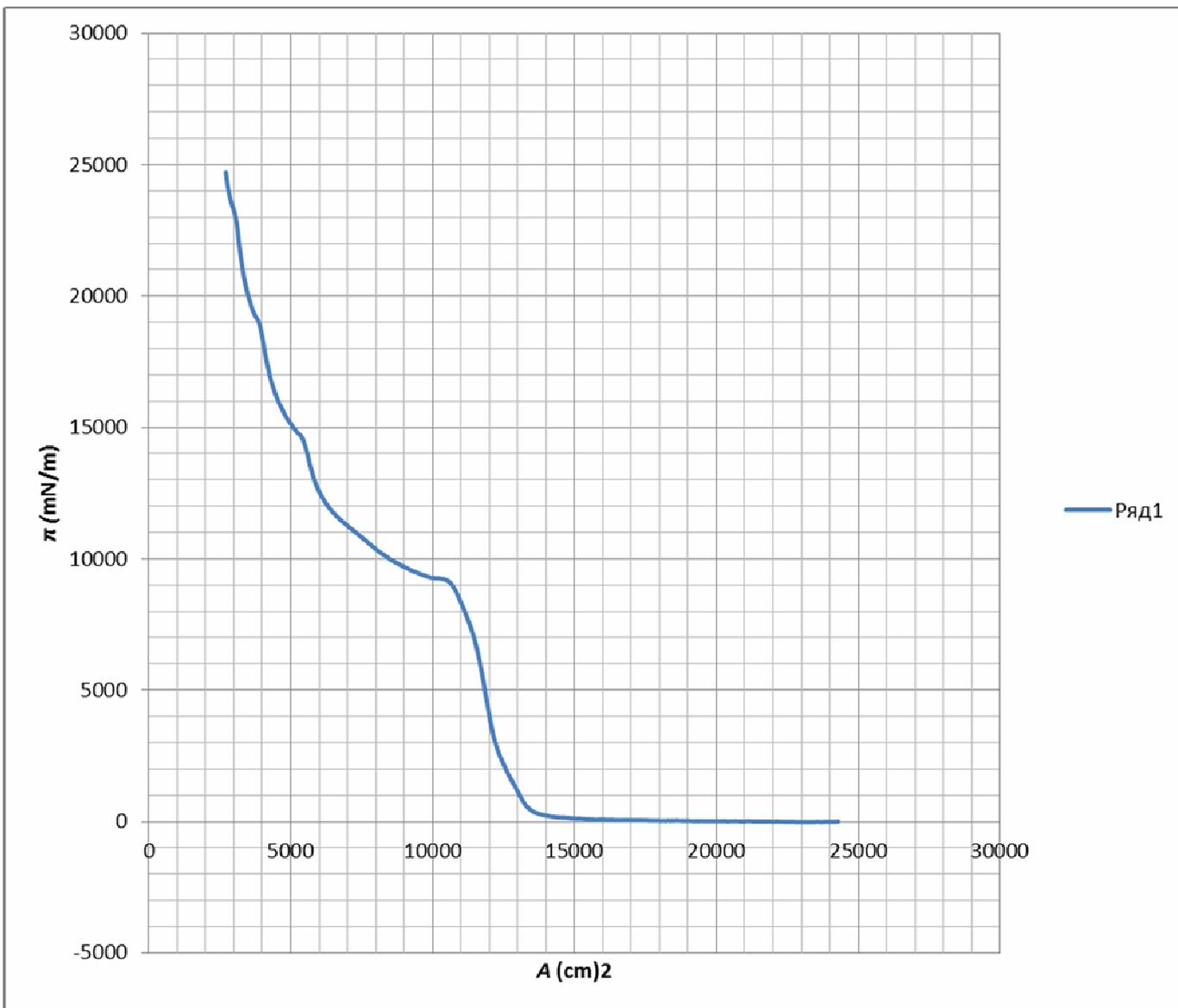


Рисунок 8 -

### 1.3 Формирование многослойных структур с проводящими слоями и слоями наночастиц между ними

Опытным путем было установлено, что для получения металлических пленок (используемых для дальнейшего переноса) методом магнетронного напыления покрытий существуют следующие предпочтения по выбору мишени - катода распылительной системы:

- Использование однокомпонентного металла. В случае многокомпонентности металла – мишени, поверхность полученной

металлической пленки имеет не однородную, сетчатую структуру. При переносе на поверхность воды металлическая пленка рассыпается на отдельные составляющие.

- Использование металла с невысокими значениями модуля упругости: модуля Юнга (до  $15 \times 10^{10}$  Па), обусловлено напряжением материала

Также был рассмотрен и протестирован ряд веществ для создания водорастворимых удаляемых слоев с целью микрообработки поверхности при переносе металлических пленок.



Рисунок 9 - процесс переноса напыленной пленки на образец с квантовыми точками

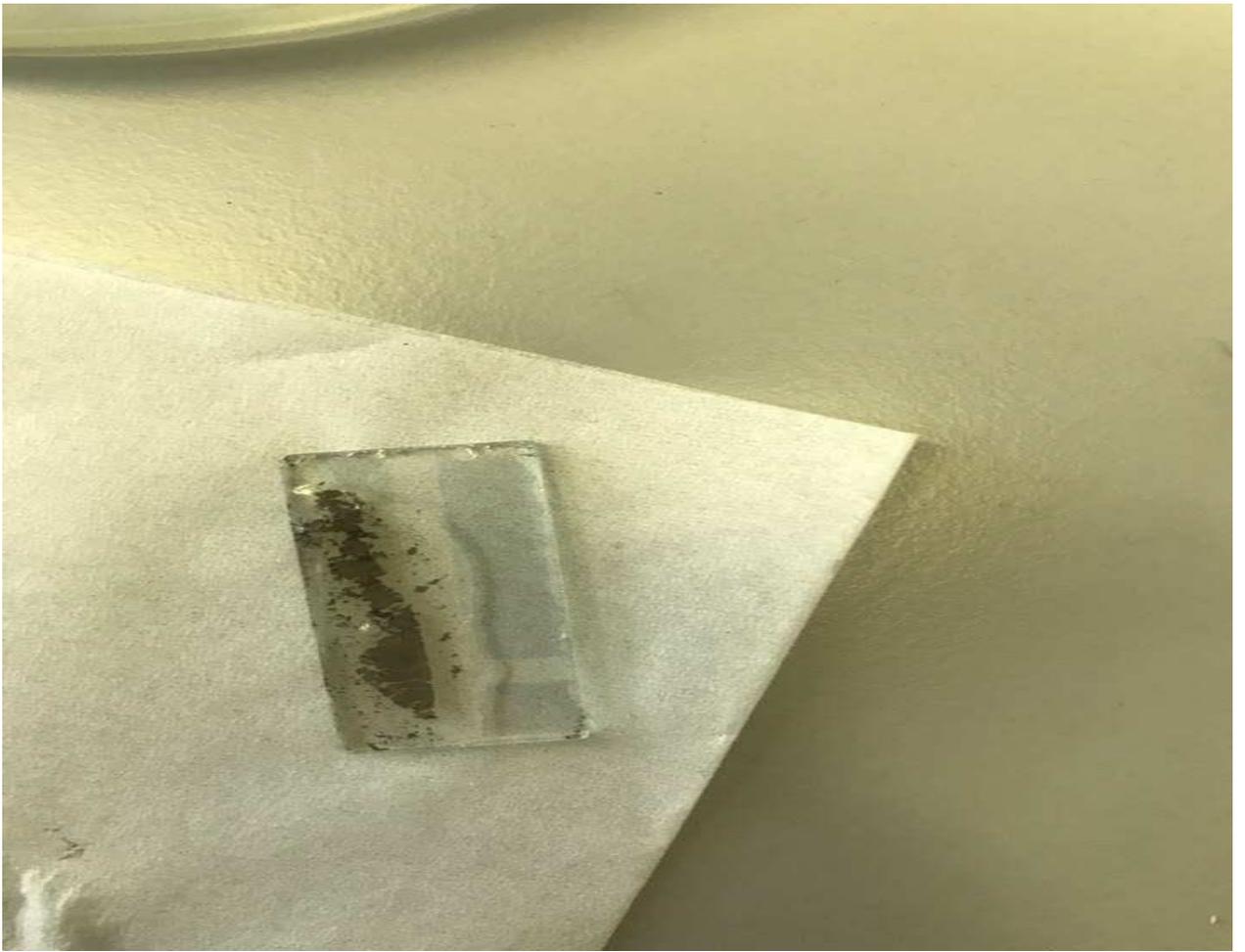


Рисунок 10 – Процесс переноса пленка - стекло

В работе изучены возможность использования и преимущества различных способов переноса тонкой металлической пленки. Наиболее приемлемыми оказались следующие:

— Отделение пленок путем контакта с водной поверхностью края подложки, расположенной под углом 10 градусов.

— Отделение пленки путем полного или частичного растворения подложки, с последующим всплыванием металлической пленки оставления на поверхности раствора до окончательного выравнивания металлической пленки силами поверхностного натяжения.

Такое предпочтение выбора веществ и методов обусловлено простотой реализации процесса и его воспроизводимостью.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проанализирован оценочный расчет по скорости осаждения материала методами термического испарения и магнетронного распыления позволил определить возможные для применения материалы – медь, олово, золото, алюминий, никель, титан, углерод.

Проведенные исследования метода ФЛГ позволили освоить технологии создания топологического рисунка, получить образцы с нанесенным фоторезистом, отработать способ УФ-обработки и травления фоторезиста.

Освоен метод ВАХ (зондовой станции) для контроля проводимости получаемых структур, полученных образцов были сняты ВАХ для дальнейшего анализа. Были нанесены слои из квантовых точек. Также было произведено нанесение слоев наночастиц металла и формирование многослойных структур с проводящими слоями и слоями наночастиц между ними.