

***Институт теплофизики им.С.С.  
Кутателадзе СО РАН***

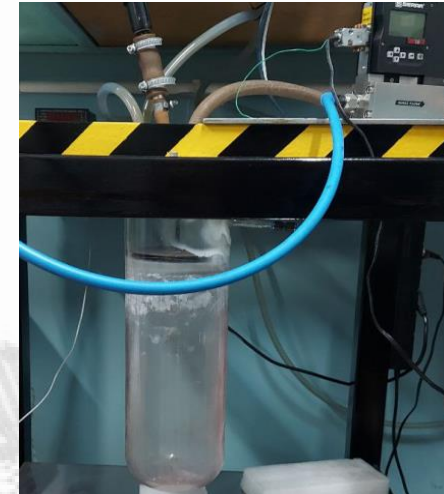
## ***Лаборатория синтеза новых материалов***

- **Электродуговой синтез углеродных наноматериалов**
- **CVD синтез графена и создание функциональных элементов на его основе**
- **Создание тонкопленочных структур методом магнетронного напыления**
- **Развитие теоретических моделей фазовых превращений в неравновесных условиях (конденсация, кристаллизация, испарение)**

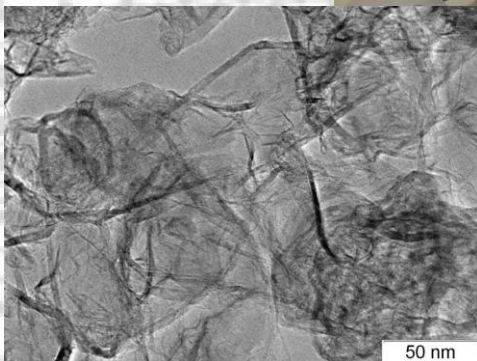
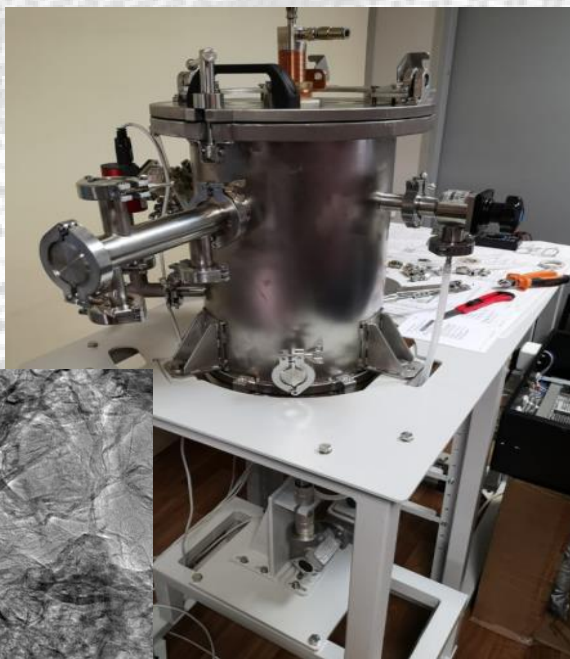
**Новосибирский научный центр  
Novosibirsk scientific center**

# Производство графена

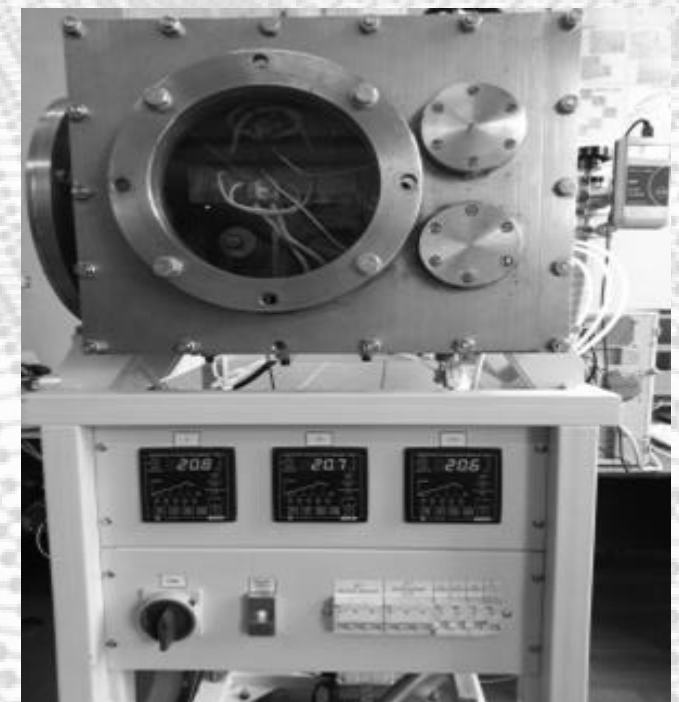
## CVD



## ARC discharge



## CVD Roll-to-Roll

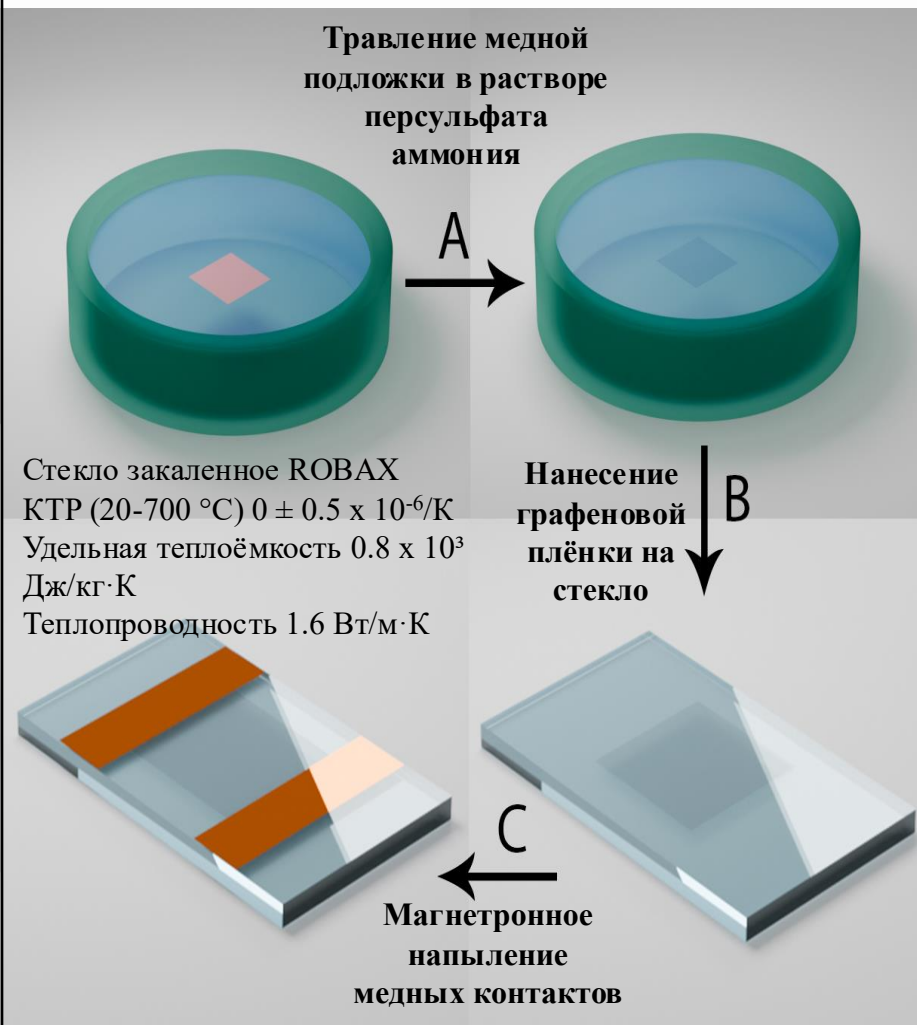
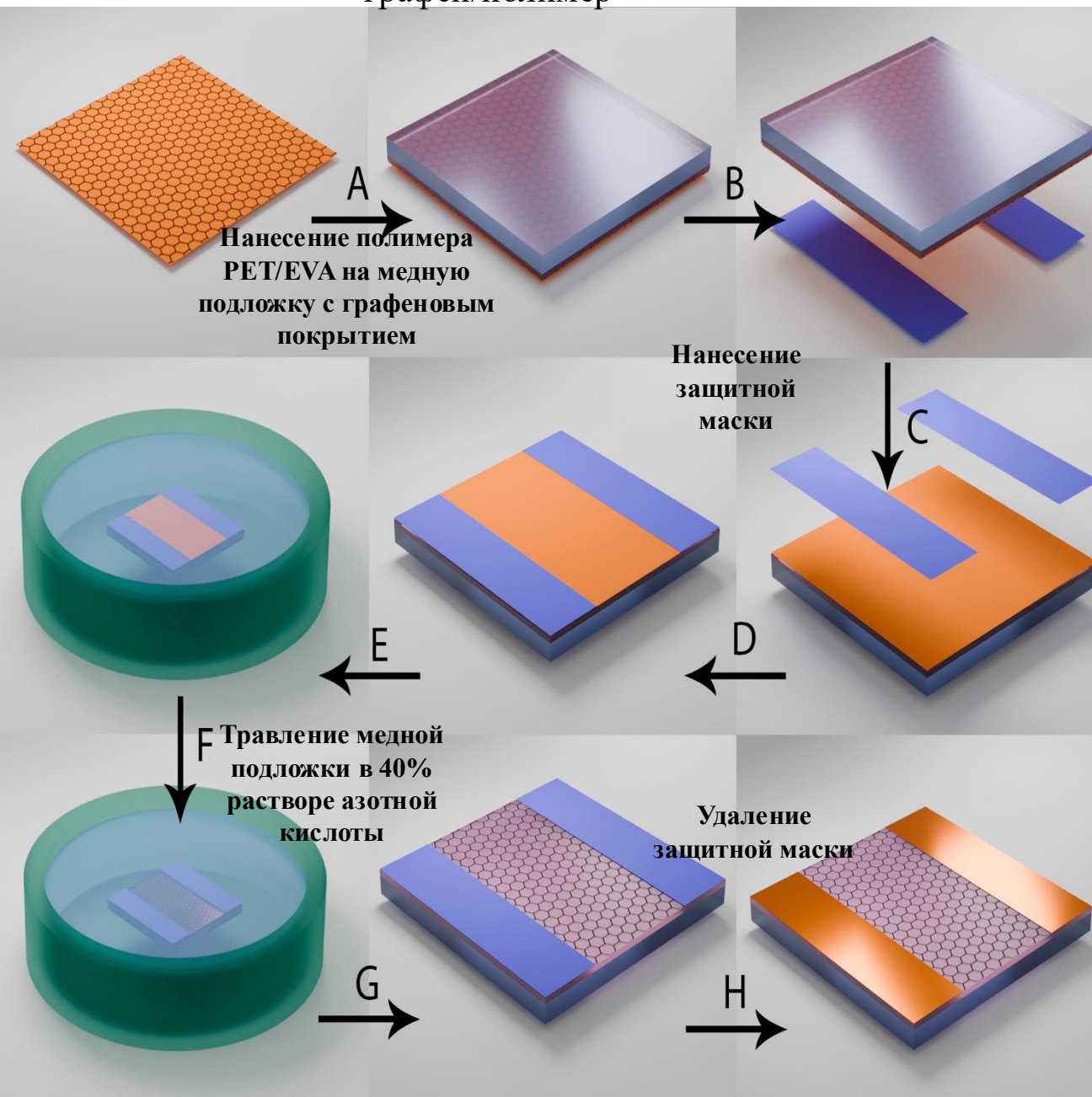




# Покрывтие плоских образцов

графен/полимер

графен/стекло



Стекло закаленное ROBAX  
КТР (20-700 °C)  $0 \pm 0.5 \times 10^{-6}/\text{K}$   
Удельная теплоёмкость  $0.8 \times 10^3$  Дж/кг·К  
Теплопроводность 1.6 Вт/м·К

+ аттестация покрытия спектроскопией КРС  
Графеновое покрытие — однослойное, сплошное

# Покрытие цилиндрических образцов

I

Подготовка медного цилиндра

II

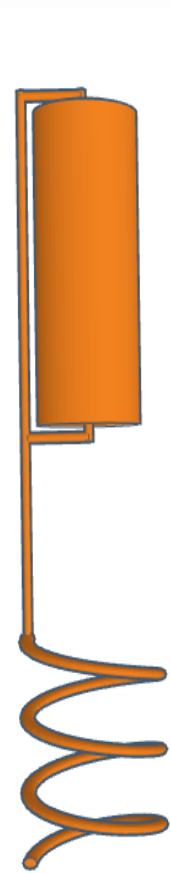
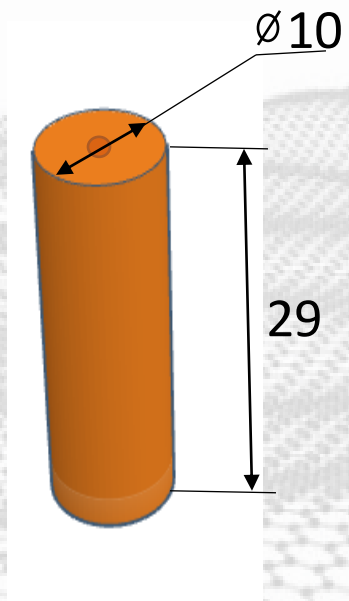
Размещение в держателе

III

Размещение в реакционной камере.  
Синтез покрытия графена CVD методом

IV

Аттестация графенового покрытия

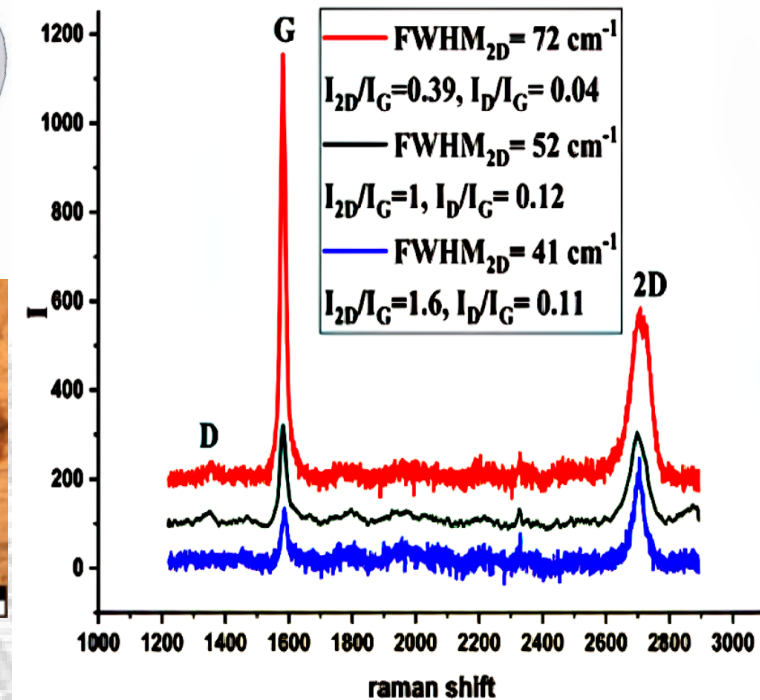


Этапы синтеза:

1) Отжиг в среде  $\text{Ar}/\text{H}_2$ ,  
100/20 ст.см<sup>3</sup>/мин,  
1070 °C — 3 часа

2) Синтез в смеси  $\text{Ar}/\text{H}_2/\text{CH}_4$ ,  
100/20/0.02 ст.см<sup>3</sup>/мин,  
1070 °C — 10 минут

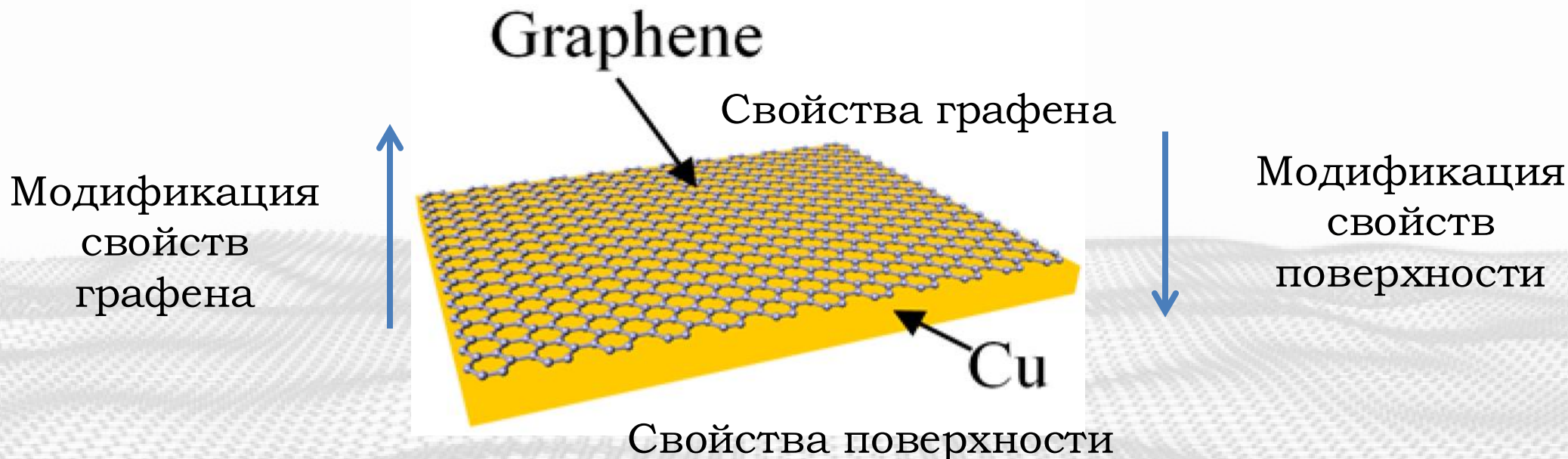
3) Охлаждение медного цилиндра ~ 1 час



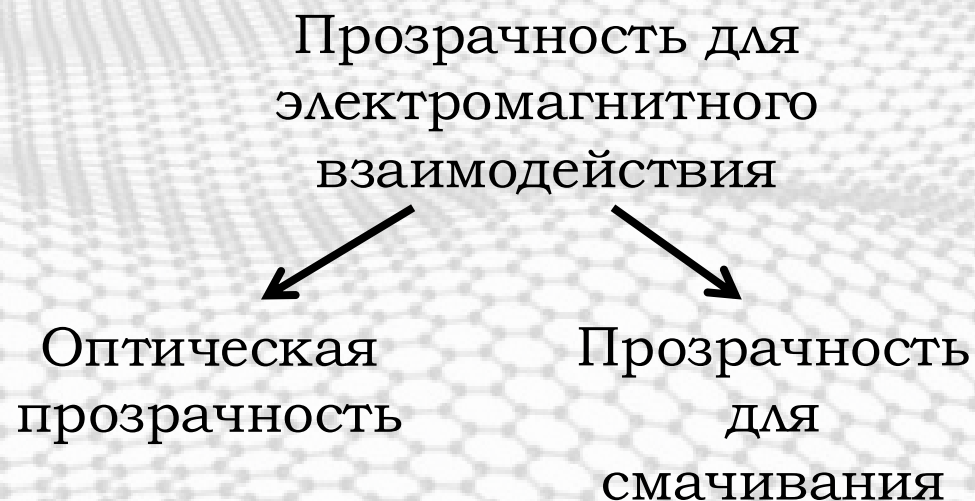
КР спектры с поверхности медного образца после 3 часов отжига и 10 минут синтеза

Графеновое покрытие медного цилиндра — многослойное, сплошное

# Взаимодействие графена с жидкой и газовой средами



- **Непроницаема для газов**
- **Защита от окисления**
- **Защита от водородного охрупчивания**
- **Защита от агрессивных сред**
- **Изменение химических свойств поверхности**

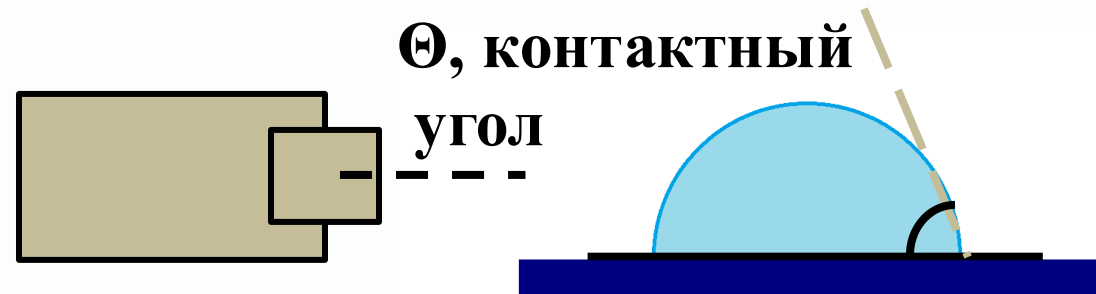


**Свойства графена = свойства системы**



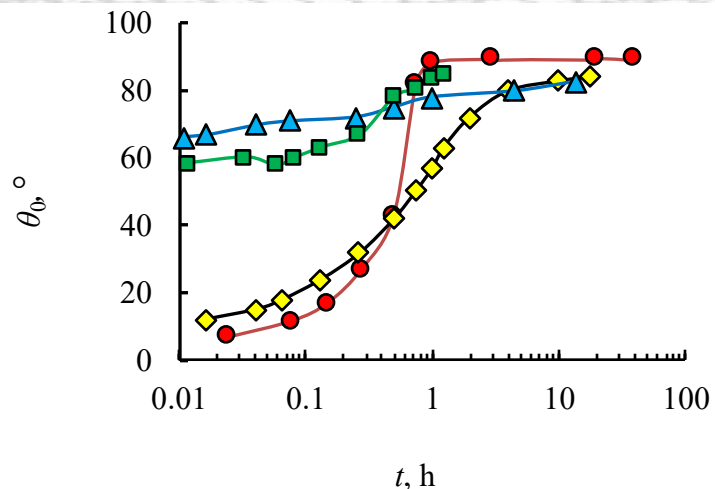
# Измерение контактного угла смачивания

$\Theta$ , контактный угол

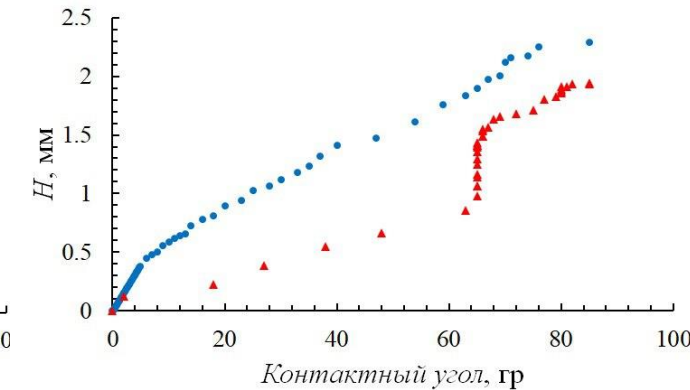
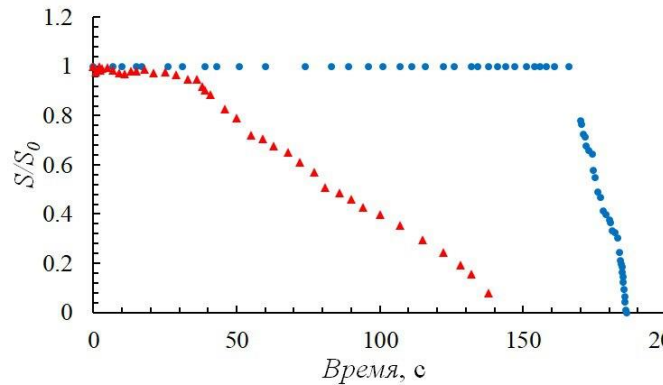
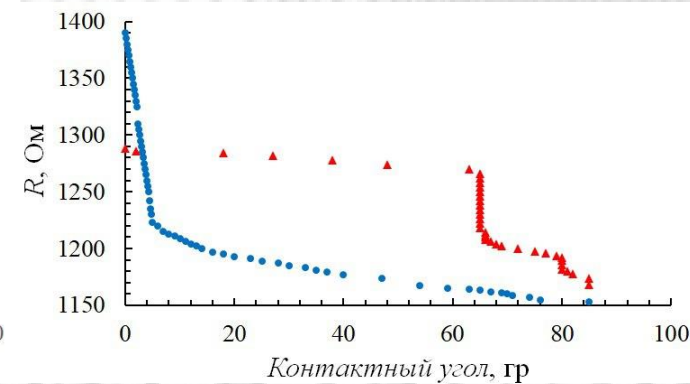
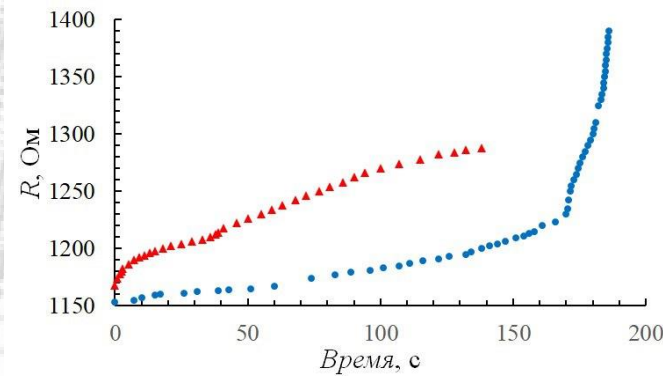
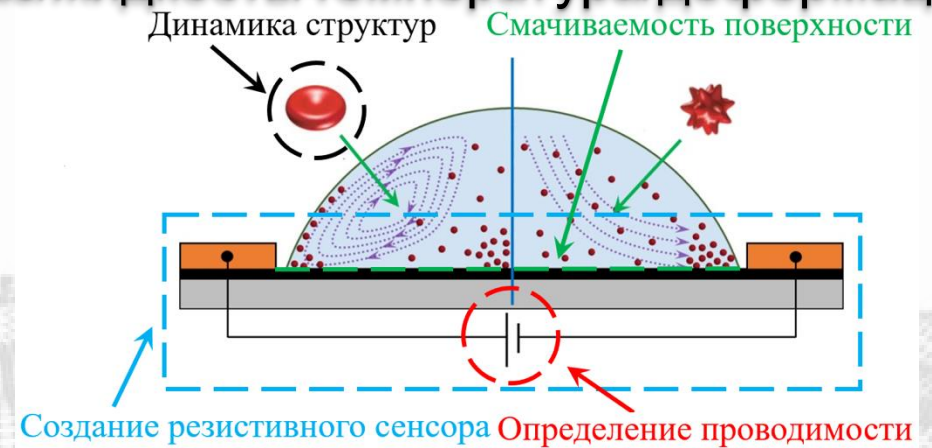


Измерение контактного угла смачивания проводилось методом лежащей капли. Определение значений углов проводилось тангенциальным методом

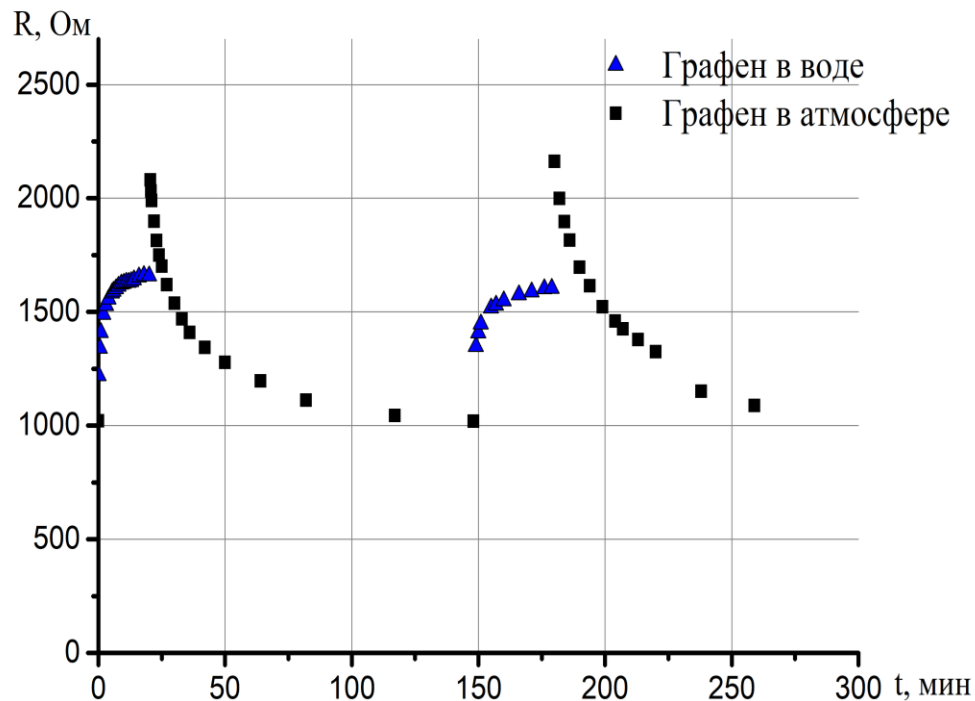
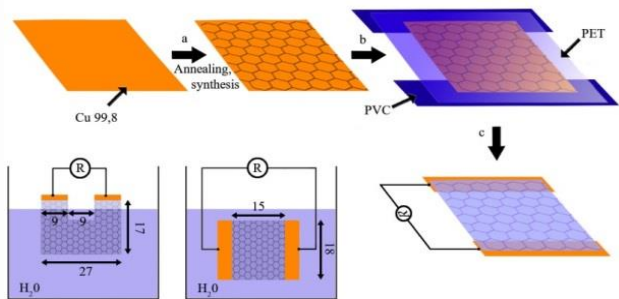
Выдержка в  $\text{H}_2 + \text{Ar} + \text{CH}_4$   
Выдержка в  $\text{Ar}(80) + \text{O}(20)$



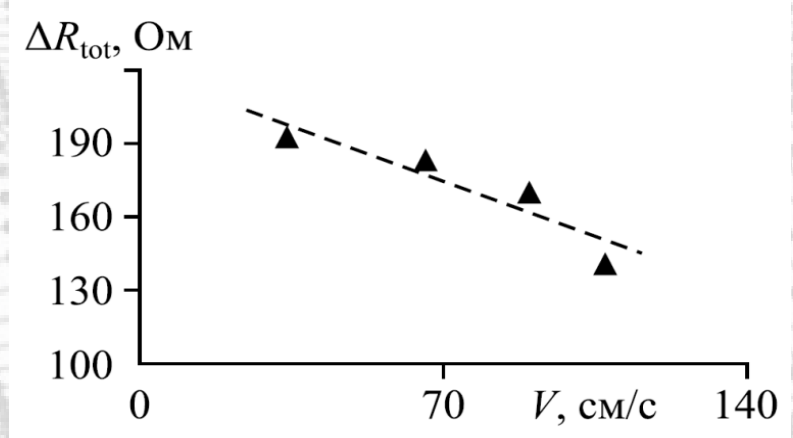
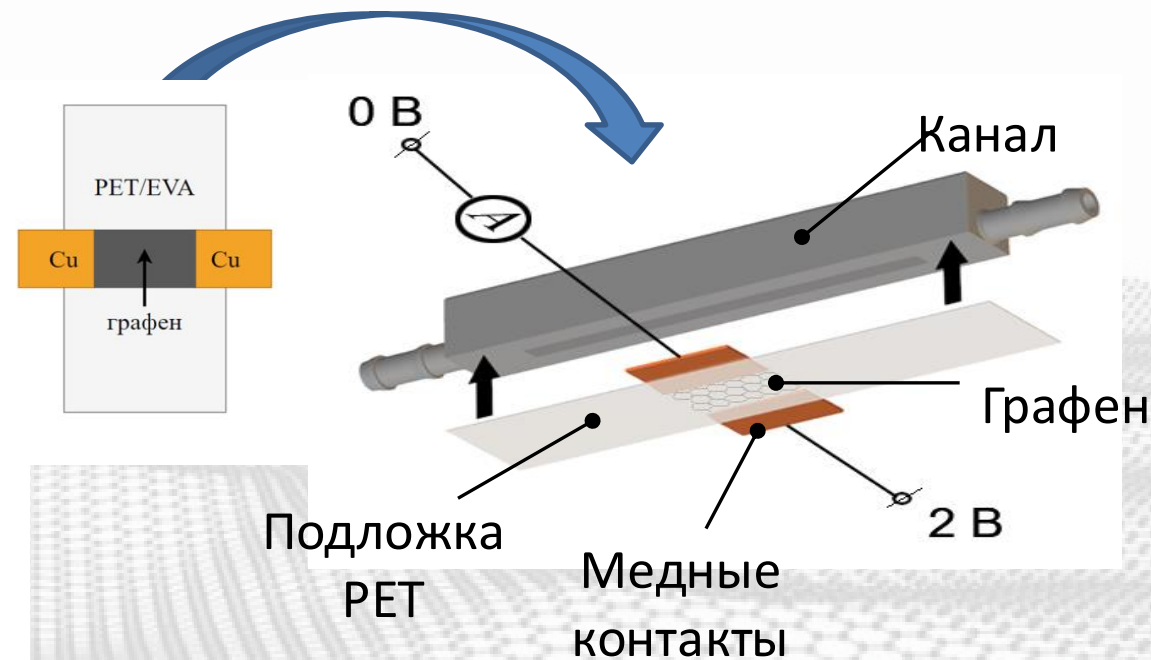
Графеновый сенсор  
(газ/жидкость/температура/деформация)



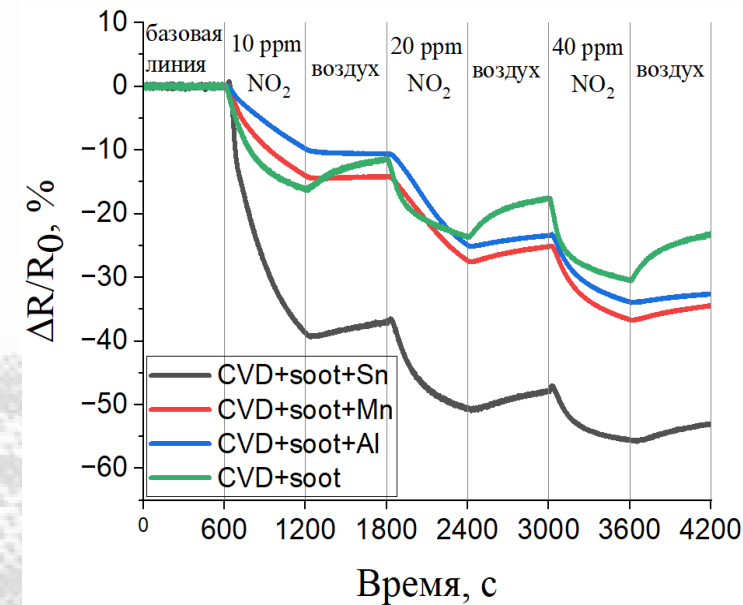
# Сопротивление графен-полимерного композита на воздухе и в воде



Зависимость сопротивления на единицу площади графена при последовательном циклическом погружение в воду и сушке.

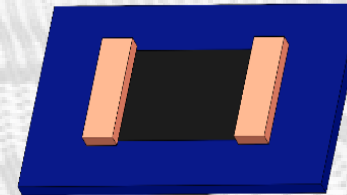
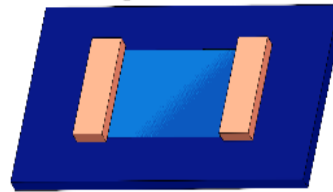


# Создание датчика на твердой подложке



## Функционализация графена электродуговой сажей

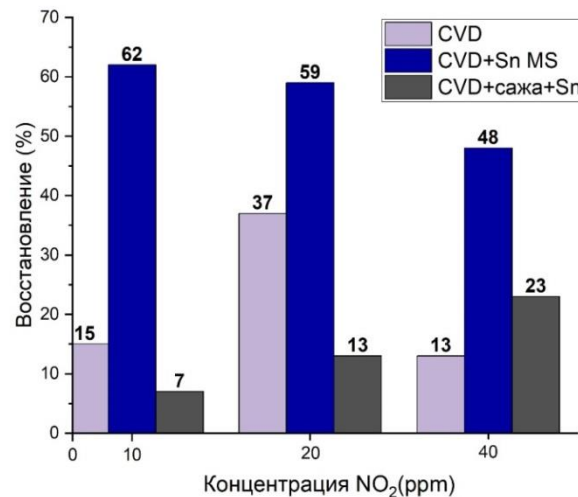
Нанесение суспензии (10 мг. углеродной сажи + 10 мл. этанола) методом аэрозольного напыления



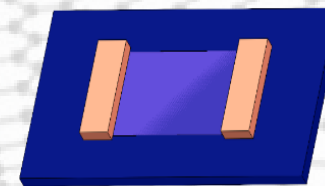
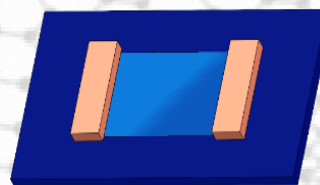
**Оптимальные параметры**

Расстояние до подложки	30 см
Температура подложки	60 °C

## Функционализация графена магнетронным напылением НЧ олова



Магнетронное напыление НЧ олова



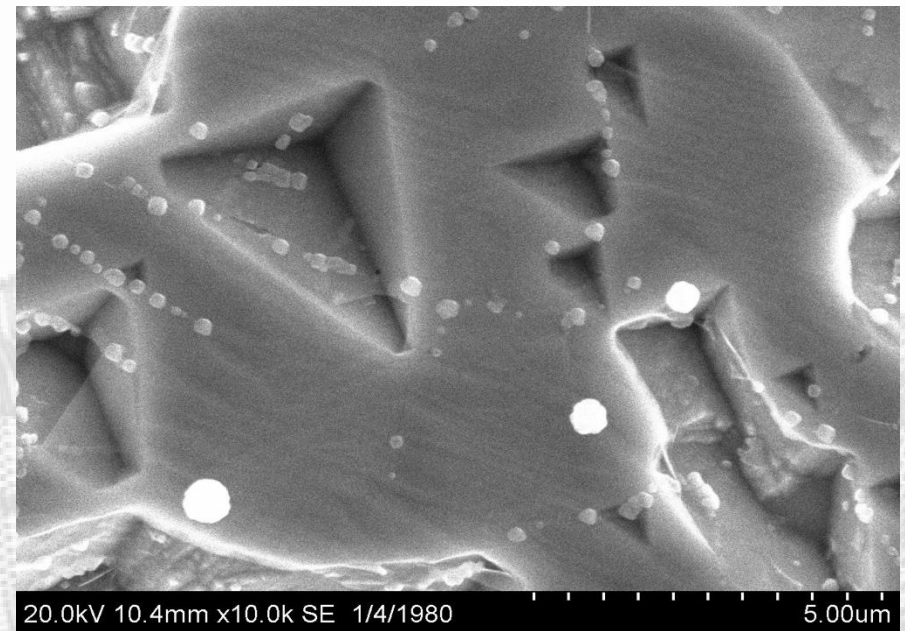
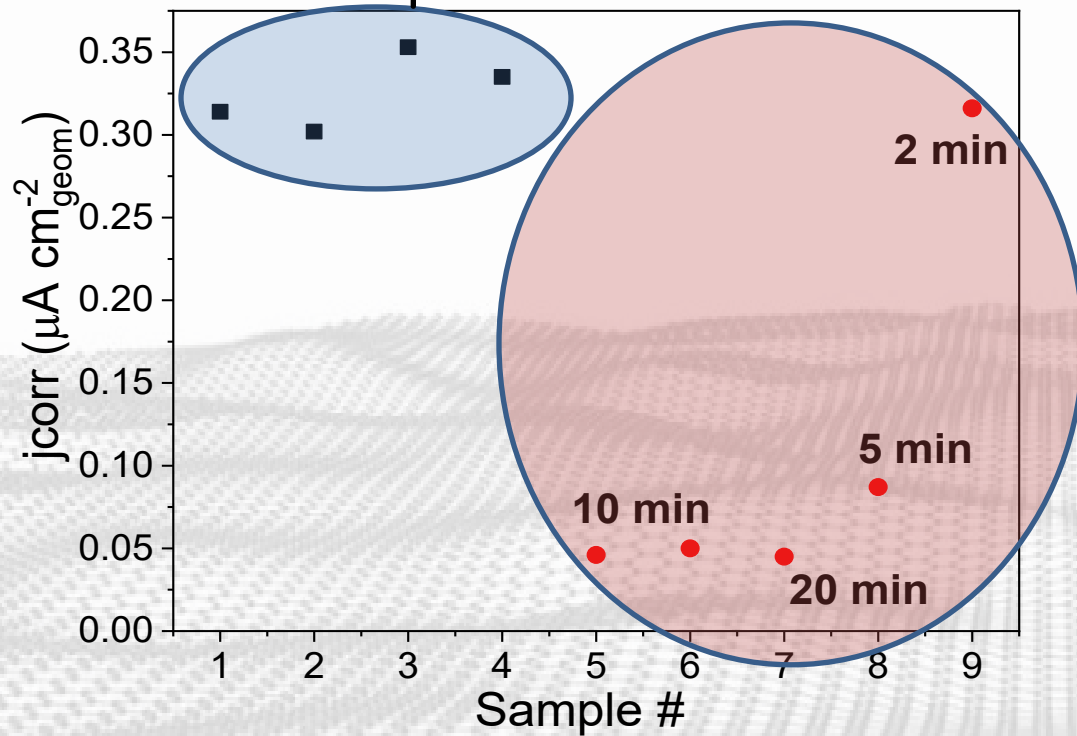
**Оптимальные параметры синтеза MS**

Тип MPC	HiPI MS
Давление	1 Па.
Мощность	50 Вт.
Время напыления	10 с.

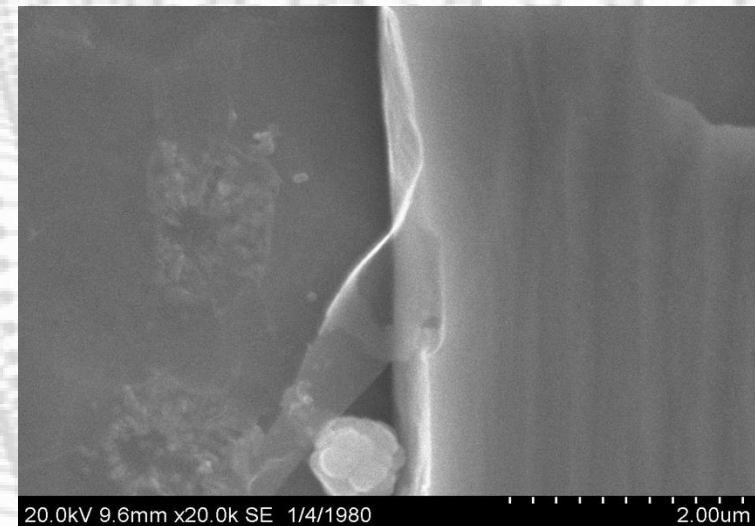
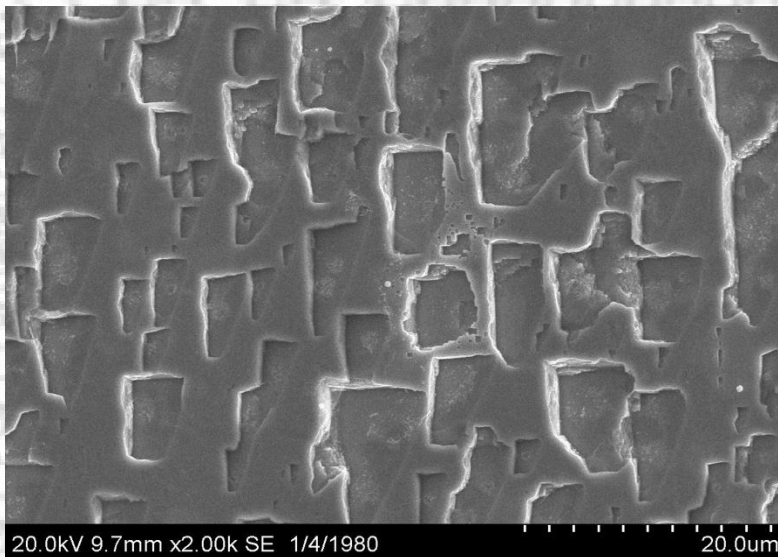


# Графеновая защита от коррозии

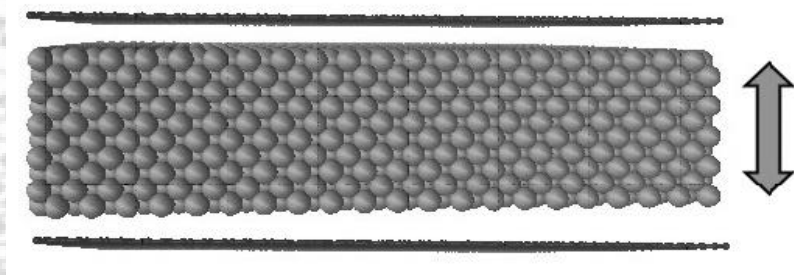
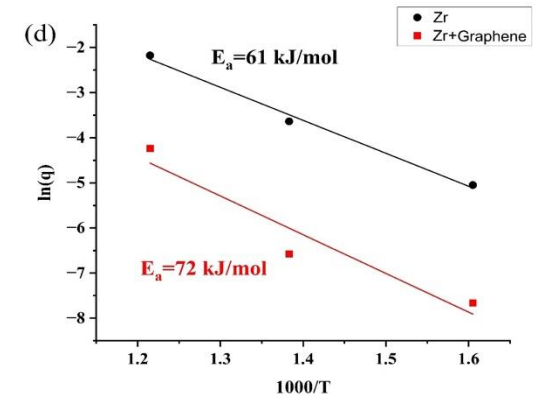
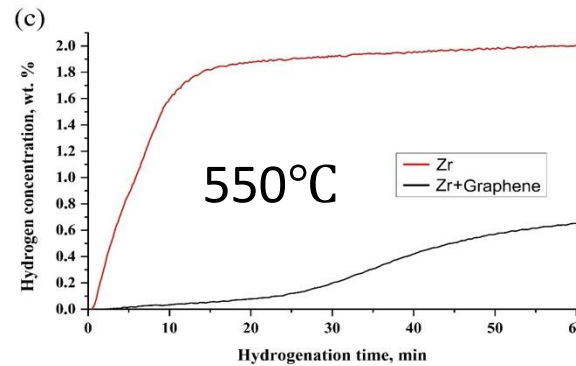
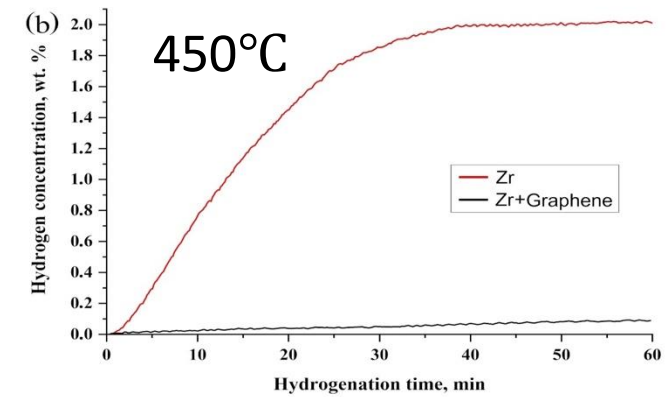
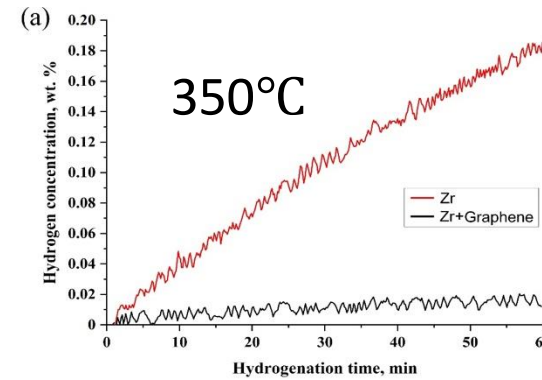
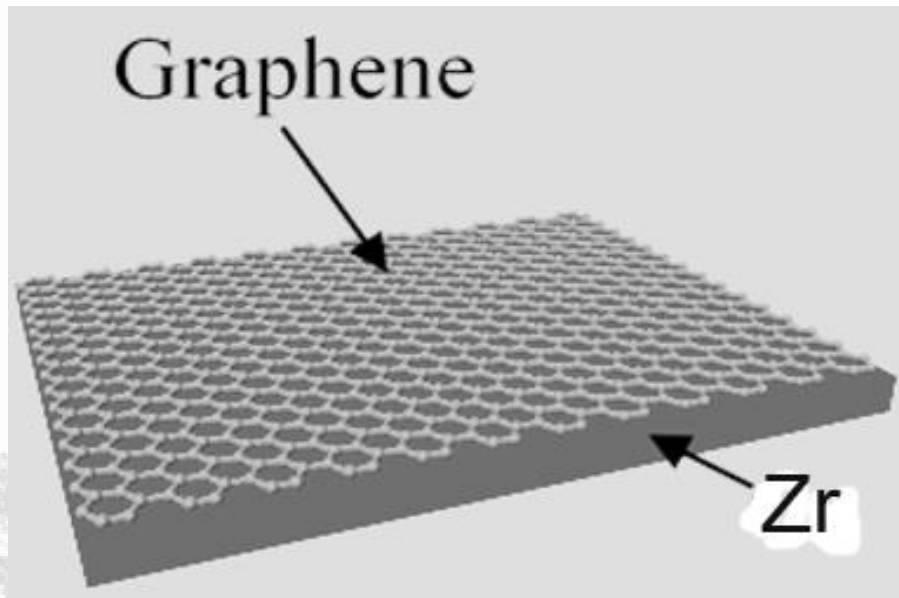
Без покрытия



Autolab  
PGSTAT 30  
(Metrohm,  
Голландия).  
0.5 M KCl



# Защита от водородного охрупчивания

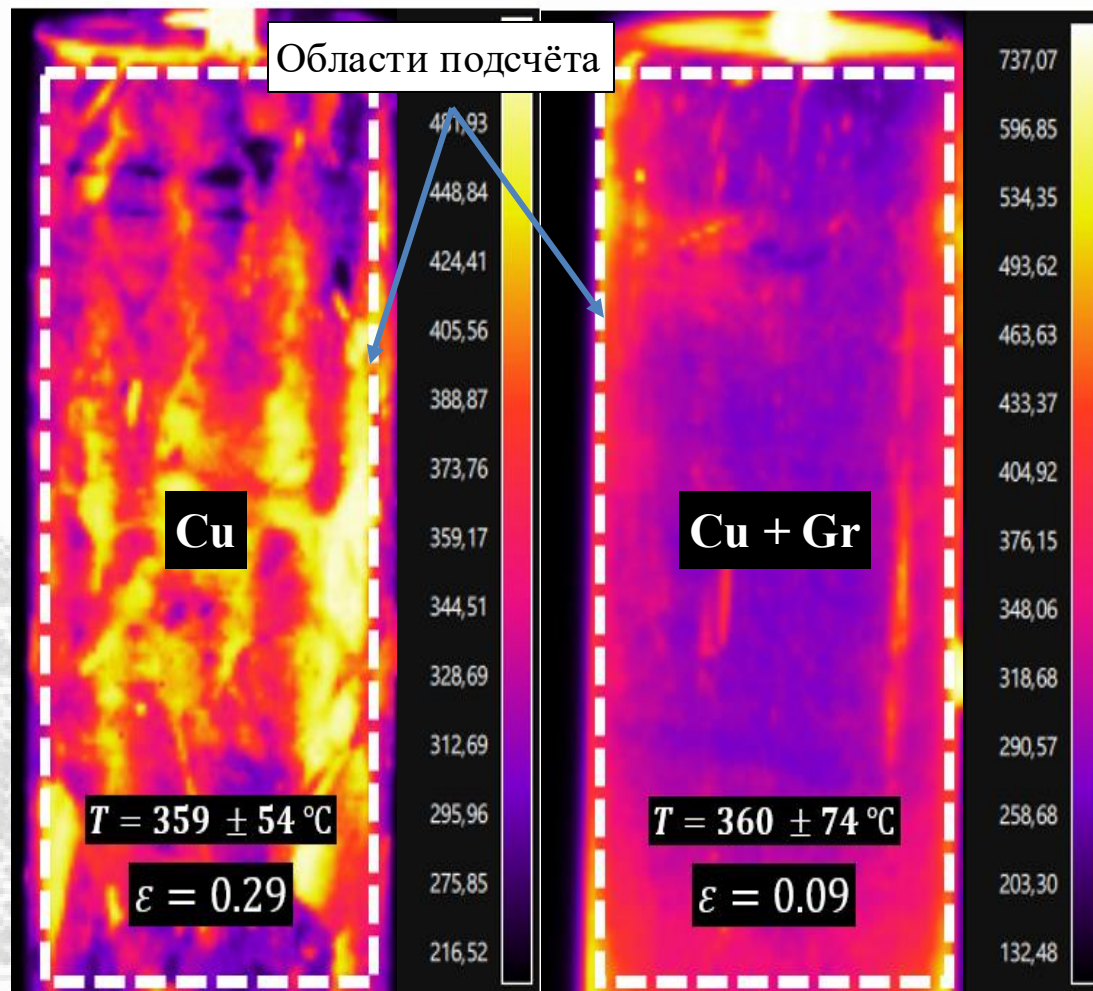
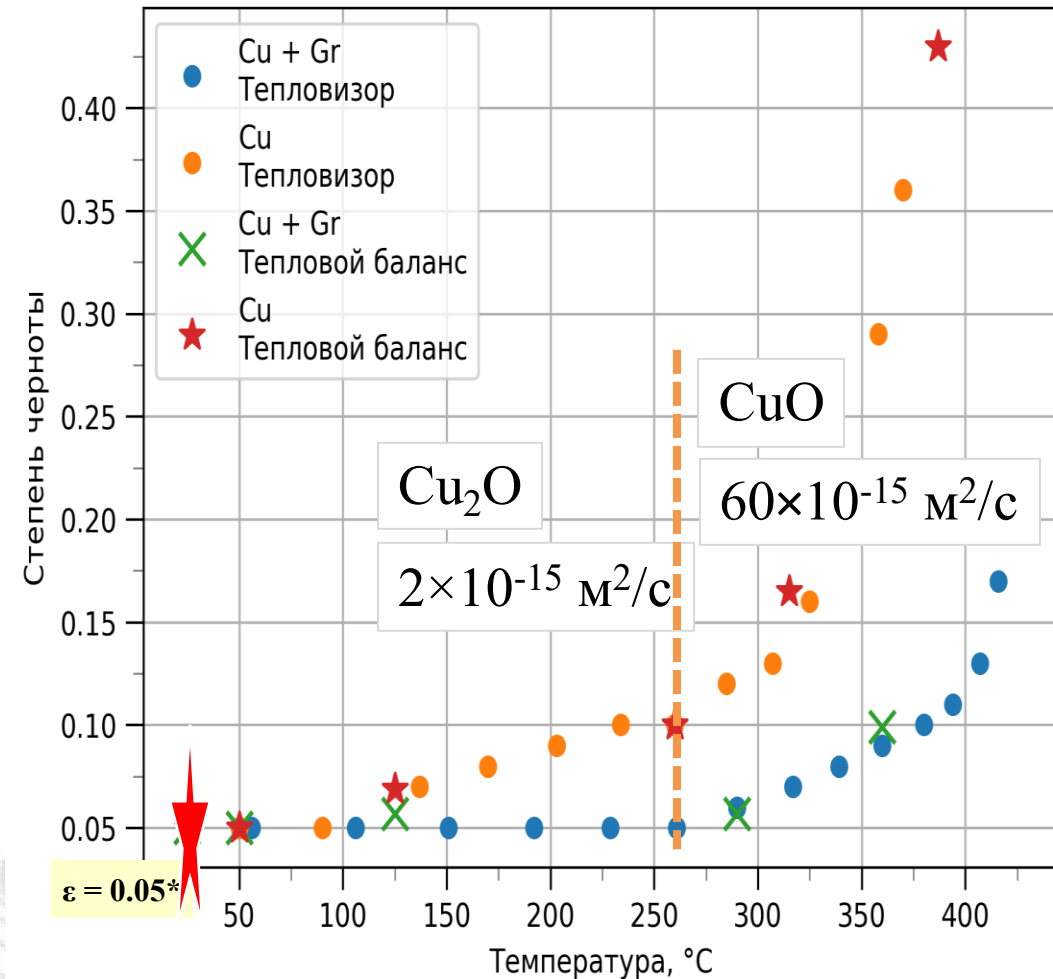


Скорость сорбции водорода на подложке Zr



# Защита от излучения

Зависимость коэффициента черноты меди от температуры поверхности



Тепловизионные снимки образцов без покрытия (Cu) и с покрытием графена (Cu + Gr). На снимке отмечена область подсчета средней температуры (среднее число точек составляло ~2000).

Тепловизор FLIR x6530sc  
Разрешение матрицы 640 x 512

Максимальная мощность радиационного излучения медного цилиндра:

- без покрытия —  $4 \pm 0.3 \text{ кВт/м}^2$
- с графеновым покрытием —  $1 \pm 0.1 \text{ кВт/м}^2$

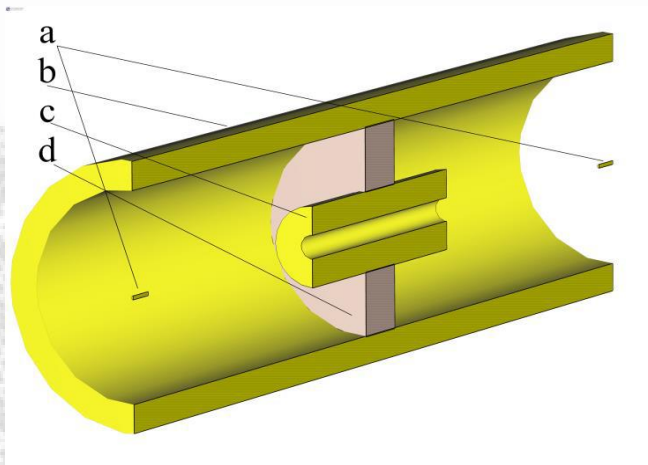
$$I_{px} \sim \dot{q}_{rad} = \varepsilon_0 \sigma T_o^4$$

$$T_o = \left( \frac{m I_{px}}{\varepsilon_0 \sigma} \right)^{-4}$$

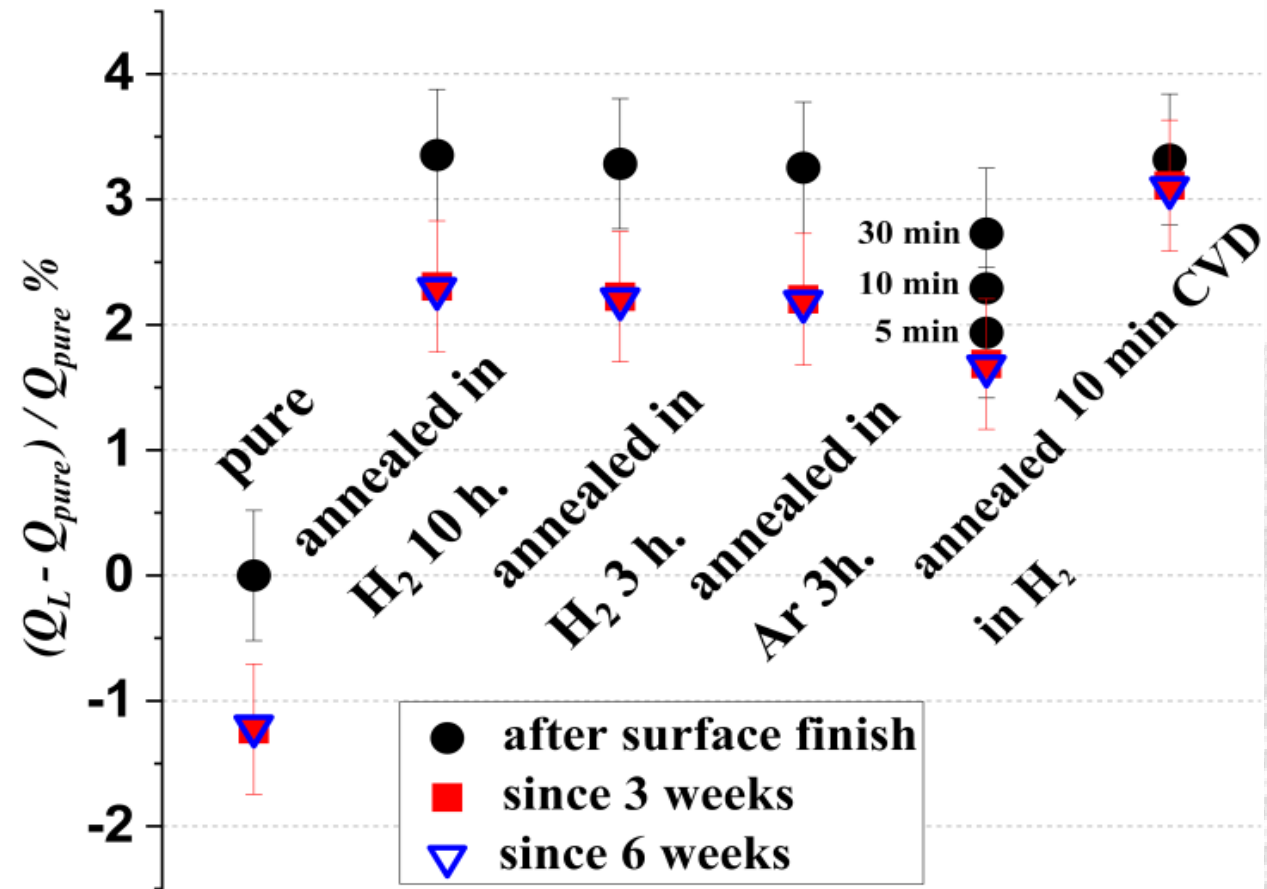
Изменение степени черноты меди при нагревании с графеновым покрытием и без — обозначены синим и красными цветами соответственно.



# Защитное покрытие СВЧ резонаторов



Рост добротности 5%, за счет увеличения проводимости  
Графен - покрытие защищающее от деградации



Изменение добротности резонатора после модификации поверхности.  $Q_L$  - добротность резонатора с модификацией,  $Q_{pure}$  - добротность резонатора до модификации его поверхности.

# Защита от вторичных разрядов

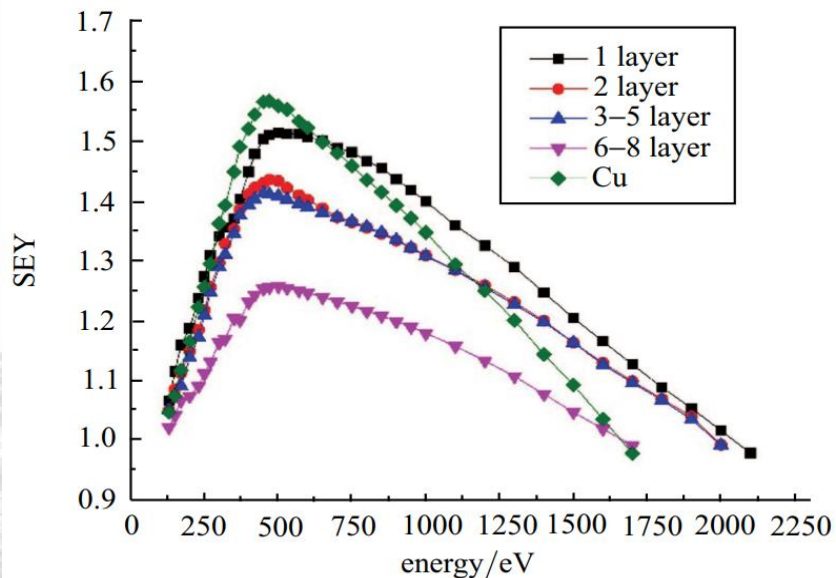
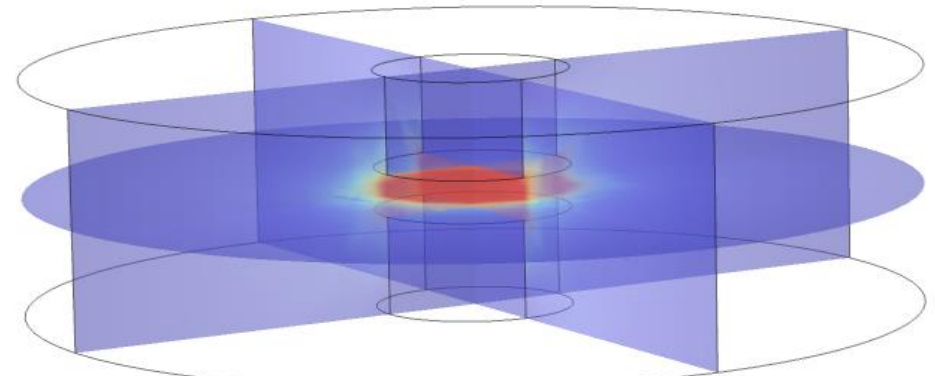
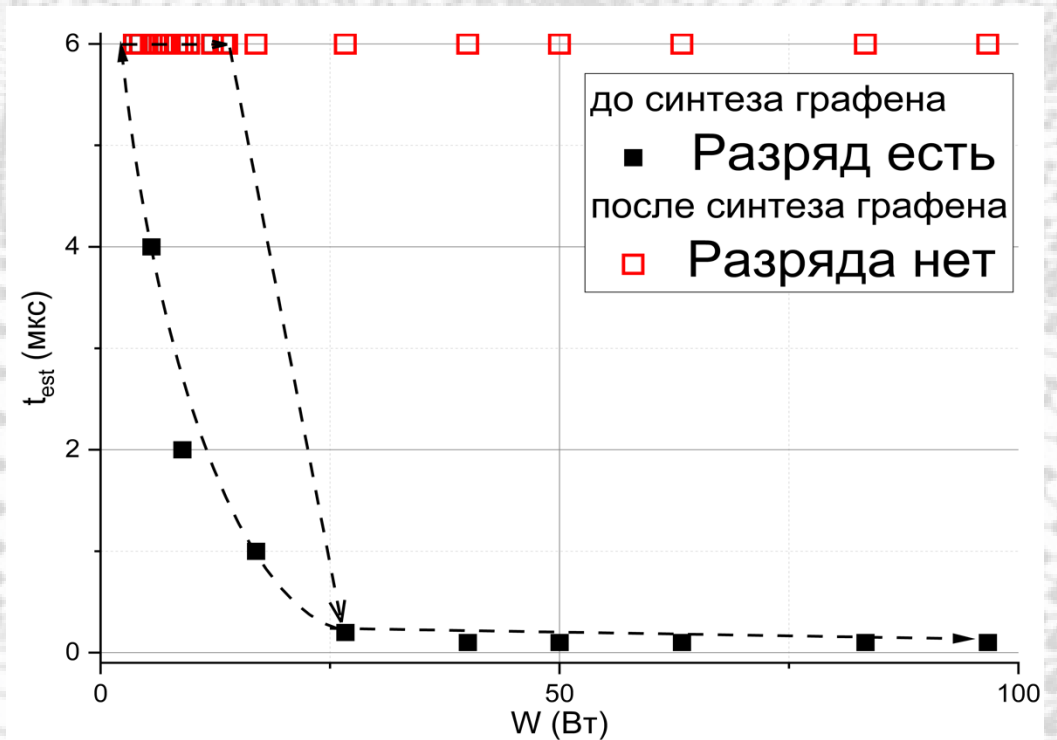
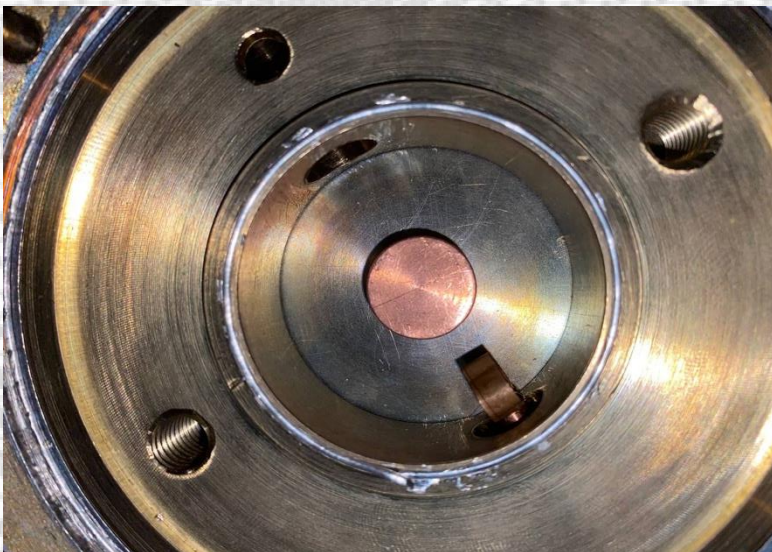


Fig. 4. (color online) SEY of graphene films with different layers, and that of the copper substrate.



Частота резонатора составляла  $\sim 2430$  MHz, добротность  $\sim 400$ , импульсная мощность генератора 100 Вт

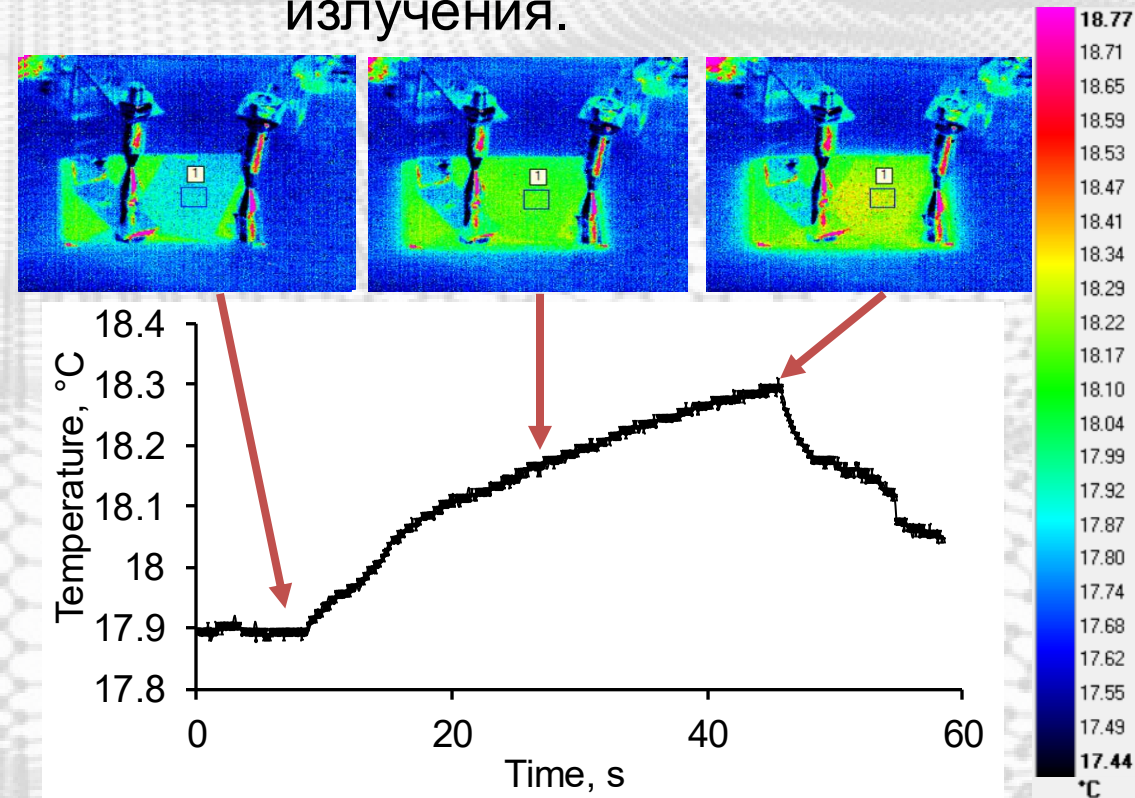
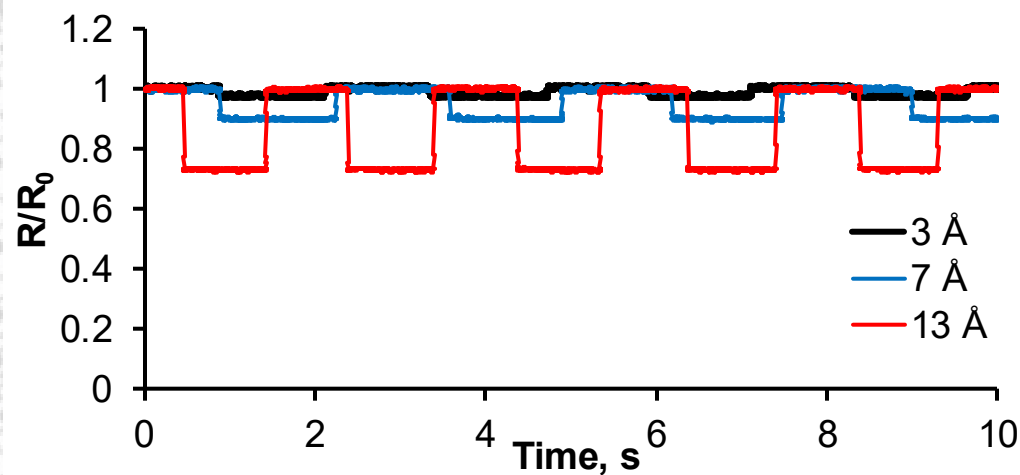
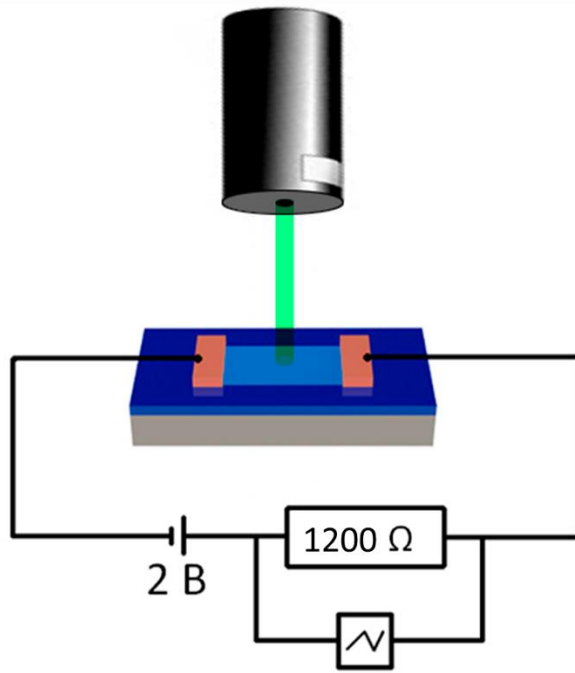


# Фотоэлектрический и болометрический эффекты

Параметры лазера:

- Model: SDLaser 303     $\lambda=532\pm 10$  nm     $P=5$  mW

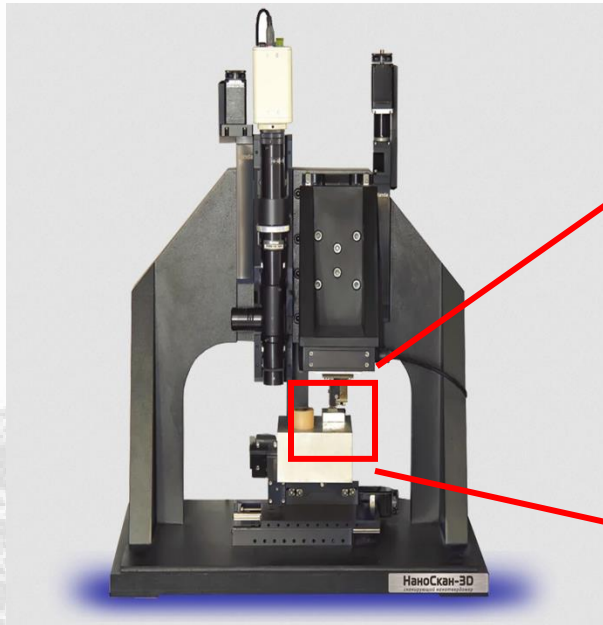
Зависимость сопротивления от мощности излучения.



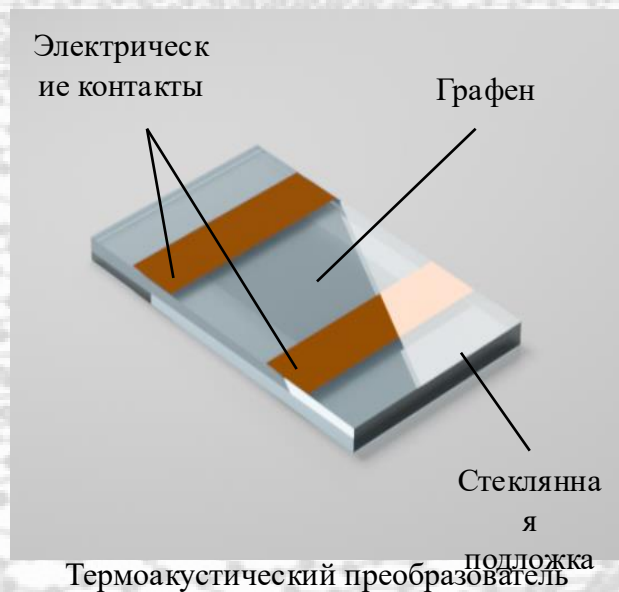
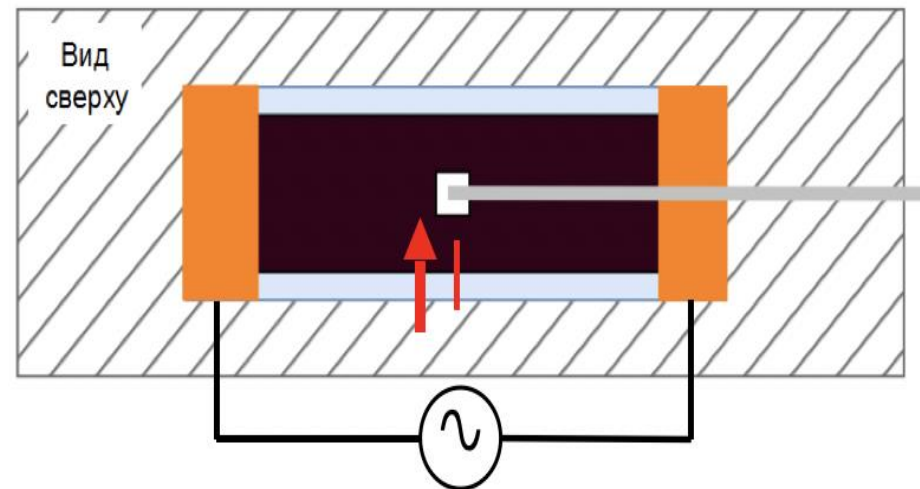
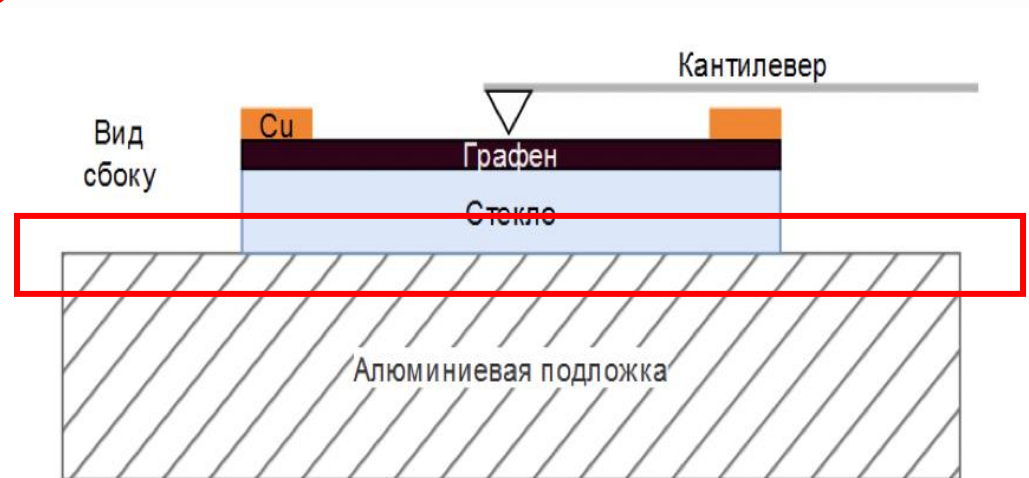
Зависимость температуры в плоскости  
Thermal Imager - FLIR x6530sc



# Экспериментальная проверка термоакустики

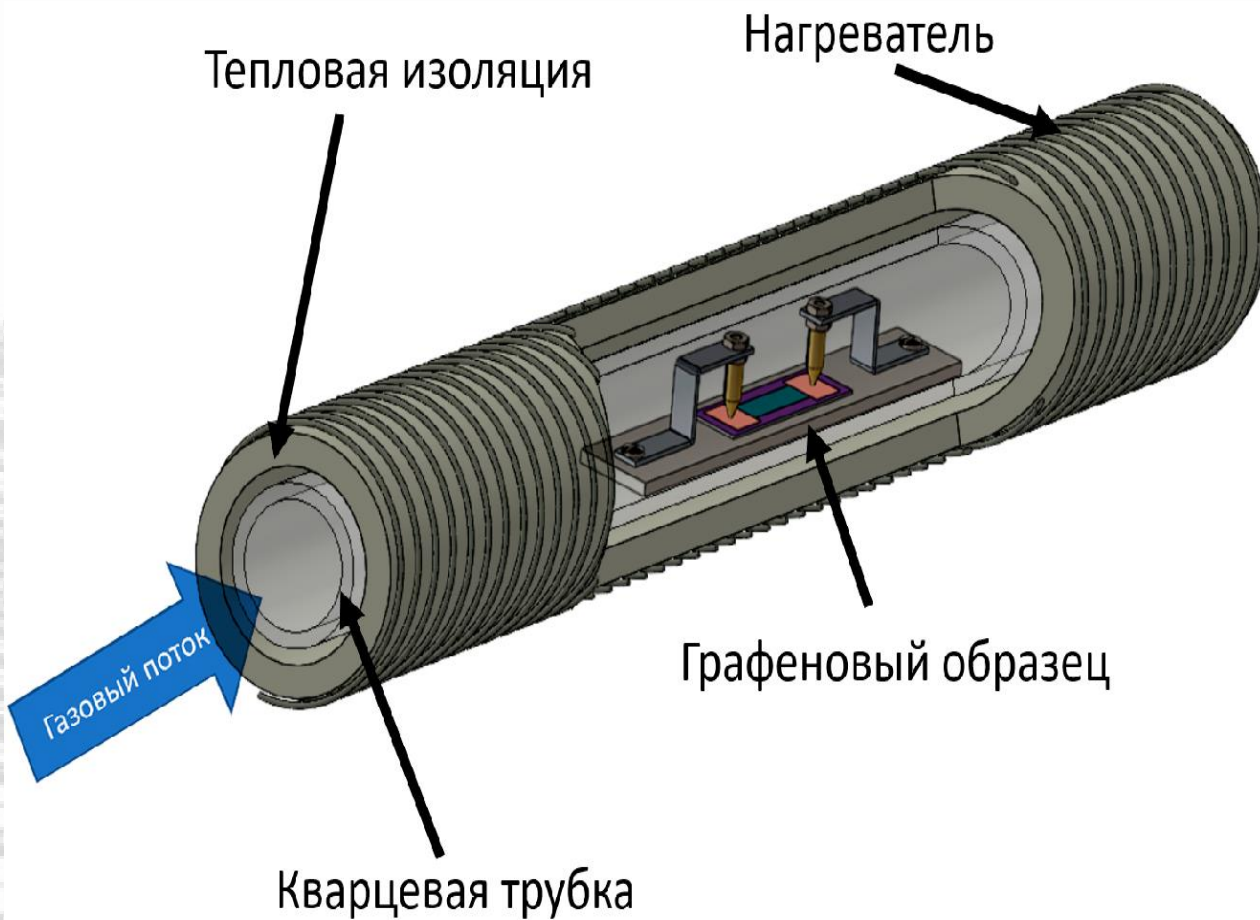


Сканирующий зондовый микроскоп  
«НаноСкан-3D»

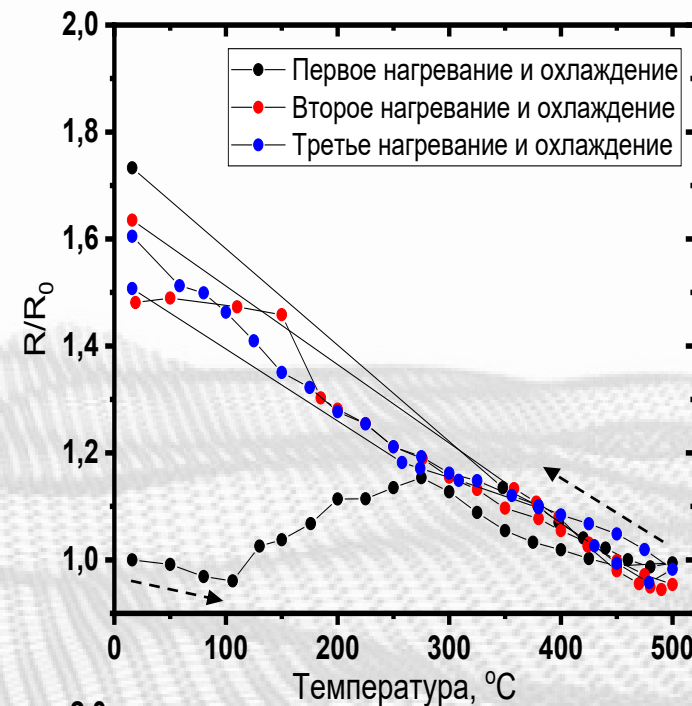


Стекло закаленное ROBAX  
КТР (20-700 °C)  $0 \pm 0.5 \times 10^{-6}/\text{K}$   
Удельная теплоёмкость  $0.8 \times 10^3$   
Дж/кг·К  
Теплопроводность 1.6 Вт/м·К

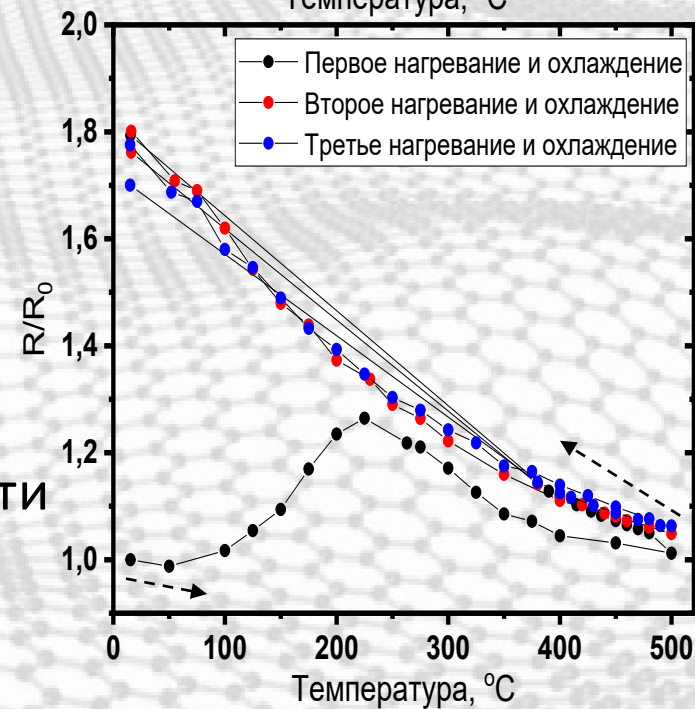
# Результаты отжига графена



Установка для измерения газовой чувствительности

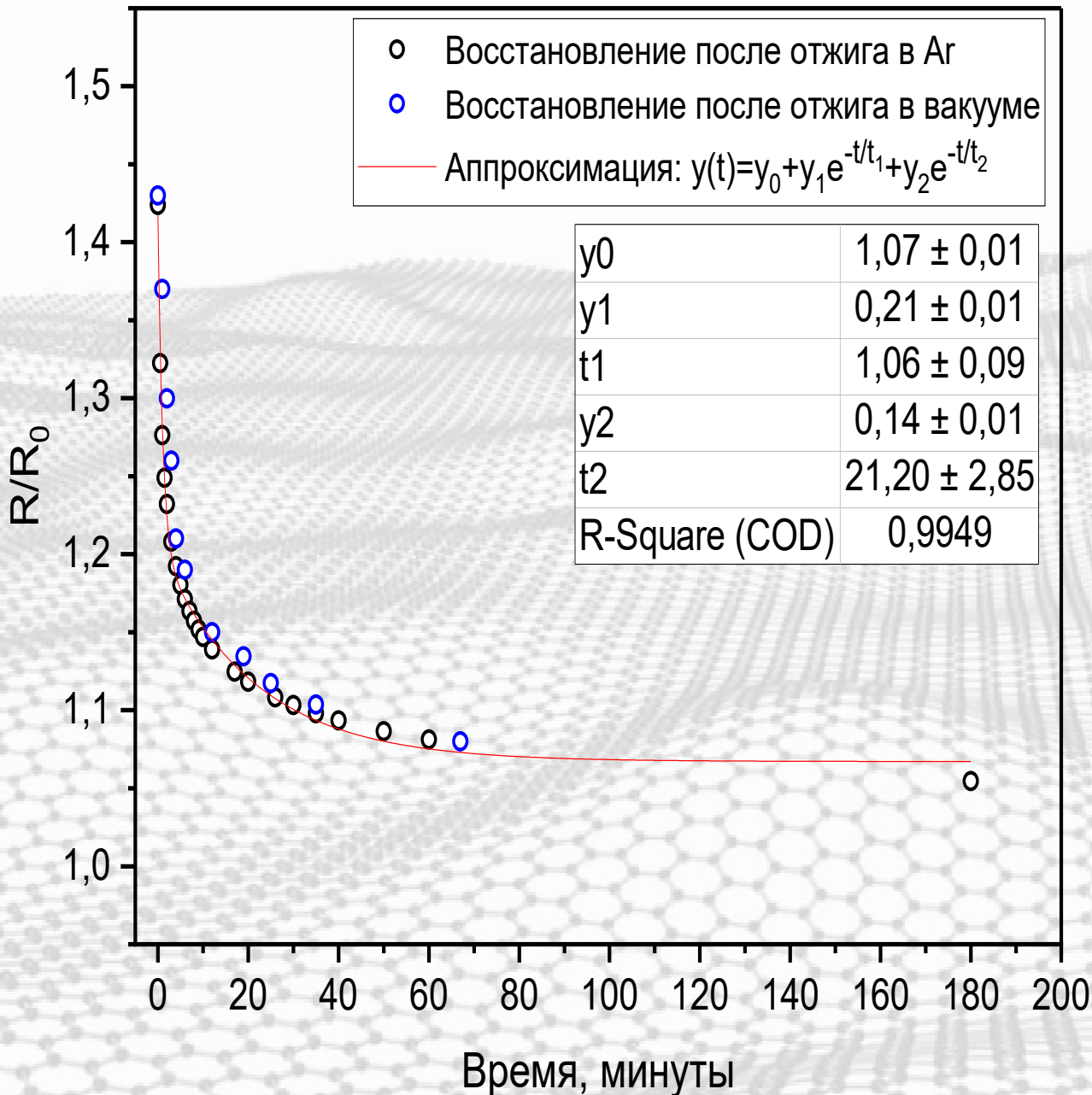


Отжиг в атмосфере Ar



Отжиг в вакууме ( $P \sim 0,01$  Па)

# Восстановление сопротивления после отжига на воздухе



Причины двух экспоненциальной кинетики:

- Адсорбция двух типов молекул ( $H_2O$  и  $O_2$ );
- Наличие двух типов структурных дефектов (1D и 2D);
- Сочетание физической адсорбции (быстрая стадия, обусловленная Ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями) и хемосорбции (медленная стадия, связанная с образованием химических связей).



# Разработке элементной базы, изделий электроники, на основе графена



Установки осаждения металлических слоев при обработке полупроводниковых пластин

**Institute of Thermophysics S.S. Kutateladze  
Novosibirsk state University  
Advanced materials synthesis laboratory  
(AMS Lab)**

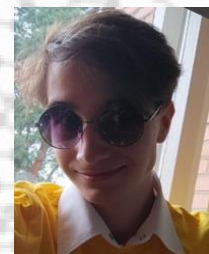


Old  
40



Senior researcher – 5  
Researcher – 7  
Aspirants – 5  
Students - 8

30



20