



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Разработка терагерцовых болометров на основе NbSe

Докладчик:

Шеин Кирилл Вячеславович



АКТУАЛЬНОСТЬ И ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Сверхпроводящие квантовые детекторы





АКТУАЛЬНОСТЬ И ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

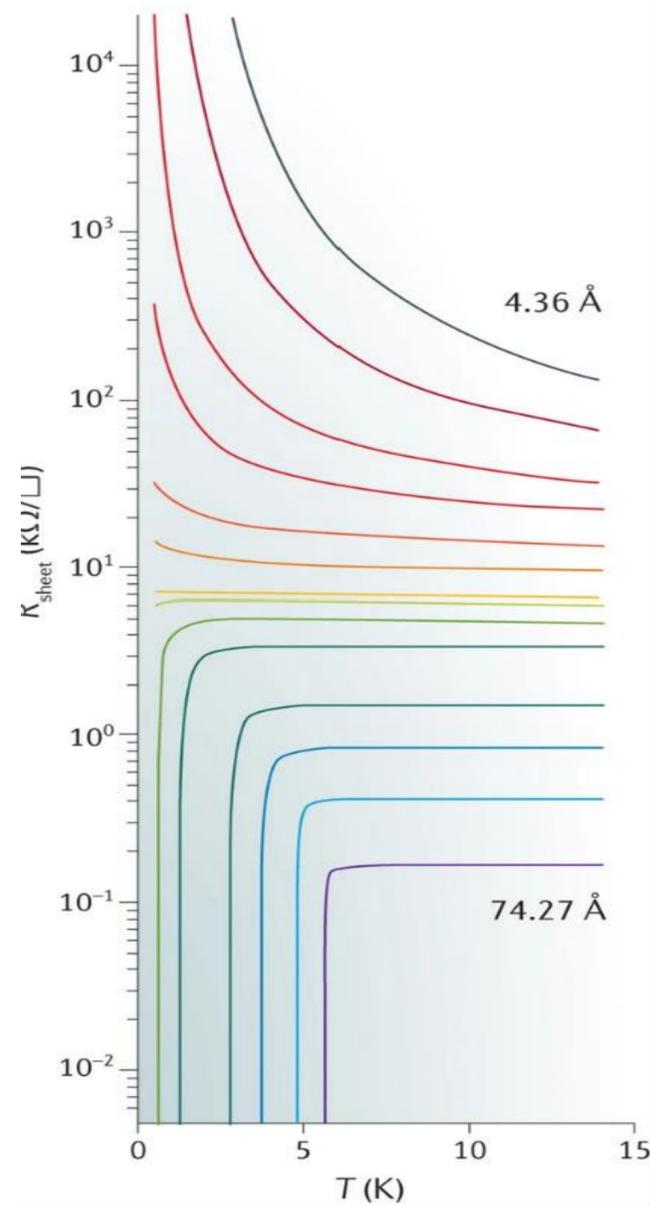
Сверхпроводящие фото детекторы

Типы детекторов	Основные преимущества	Основные ограничения
<ul style="list-style-type: none">● Боллометры● Однофотонные детекторы	<ul style="list-style-type: none">● Рекордная чувствительность● Быстродействие● Широкий спектральный диапазон● Малые шумы	<ul style="list-style-type: none">● Сложный технологический процесс и дороговизна оборудования● Ограничение на толщину структуры● Сложность с интеграцией на кремниевые технологии

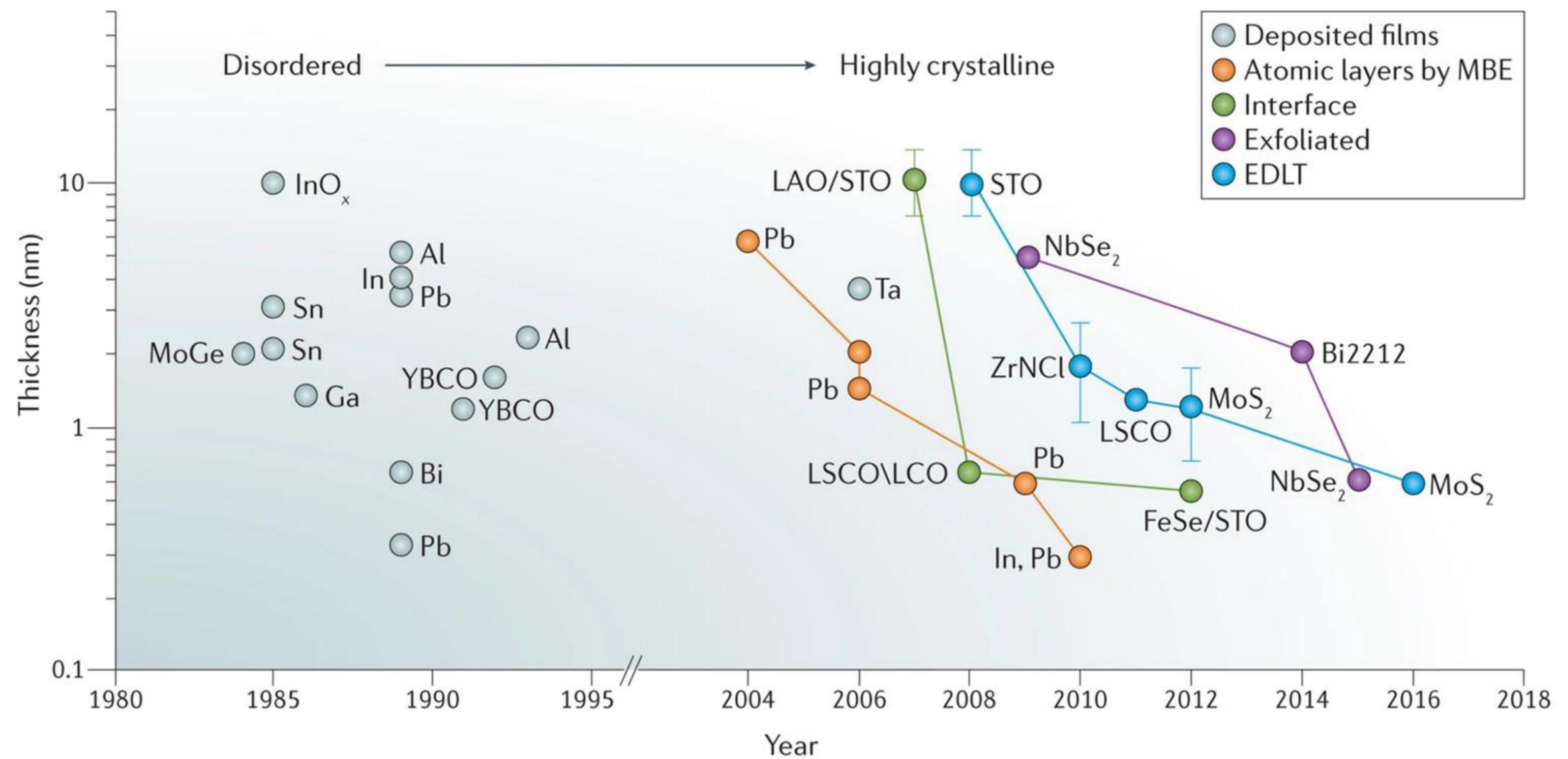


АКТУАЛЬНОСТЬ И ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Двумерные сверхпроводники



$R(T)$ аморфных пленок Bi в зависимости от толщины¹



¹Saito, Y., Nojima, T. & Iwasa, Y. Highly crystalline 2D superconductors. *Nat Rev Mater* 2, 16094 (2017)



АКТУАЛЬНОСТЬ И ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Двумерные сверхпроводящие детекторы

Основные преимущества

- Сверхпроводимость сохраняется до 1 атомного слоя
- Малая теплоемкость
- Возможность создания гетероструктур с программируемыми свойствами
- Изучение фундаментальных пределов детектирования

Основные ограничения

- Высокое контактное сопротивление
- Дegradация при структурировании
- Практически не исследованы в качестве основы для фото детекторов



АКТУАЛЬНОСТЬ И ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Значимость работы

Значимость данной работы заключается в комплексном исследовании двумерных сверхпроводников как основу для квантовых детекторов нового поколения. Несмотря на уникальные свойства данных материалов использования их в качестве детекторов электромагнитного излучения остается в значительной степени не исследованной.



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Целью работы является комплексное исследование двумерных сверхпроводников как основу для детекторов электромагнитного излучения широкого диапазона. В качестве материалов будет использованы дихалькогениды переодных металлов, в частности диселенид ниобия NbSe₂. Для этого были сформулированы следующие **задачи**:

- Анализ литературы современного состояния детекторов на основе двумерных сверхпроводников
- Выбор оптимальной конфигурации детекторов
- Исследовать следующие характеристики: зависимость сопротивления от температуры, магнитного поля, вольт - амперные характеристики
- Исследовать процессы путей релаксации тепла в двумерных сверхпроводниках
- Построить электро-термическую модель релаксации тепла в двумерных сверхпроводниках
- Исследовать основные оптические характеристики детекторов : быстродействие, прямое детектирование в широком спектральном диапазоне.
- Исследовать зависимости транспортных и оптических характеристик от толщины образца и материала подложки



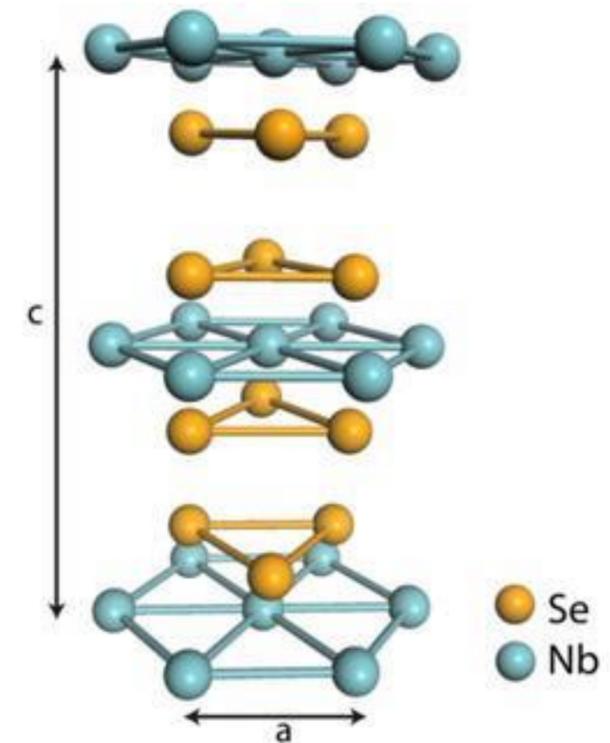
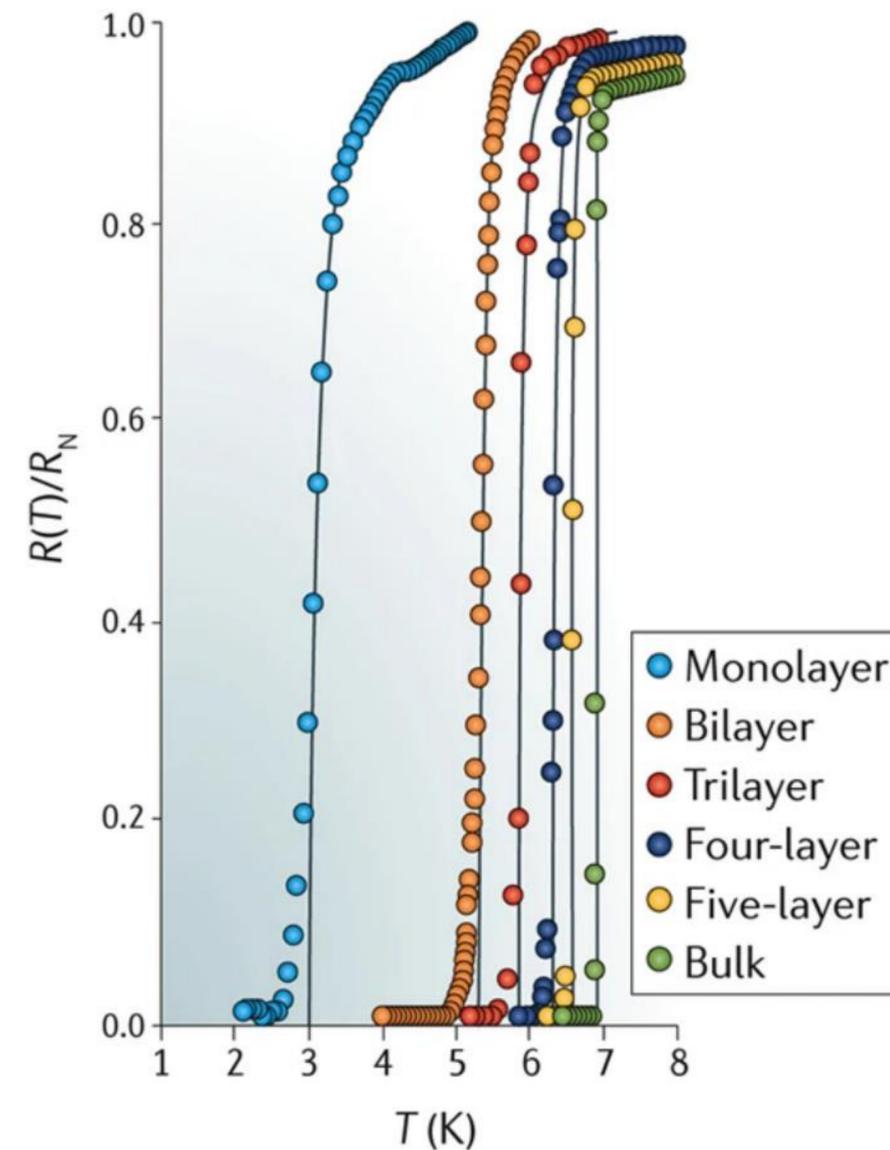
НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Впервые будут проведены:

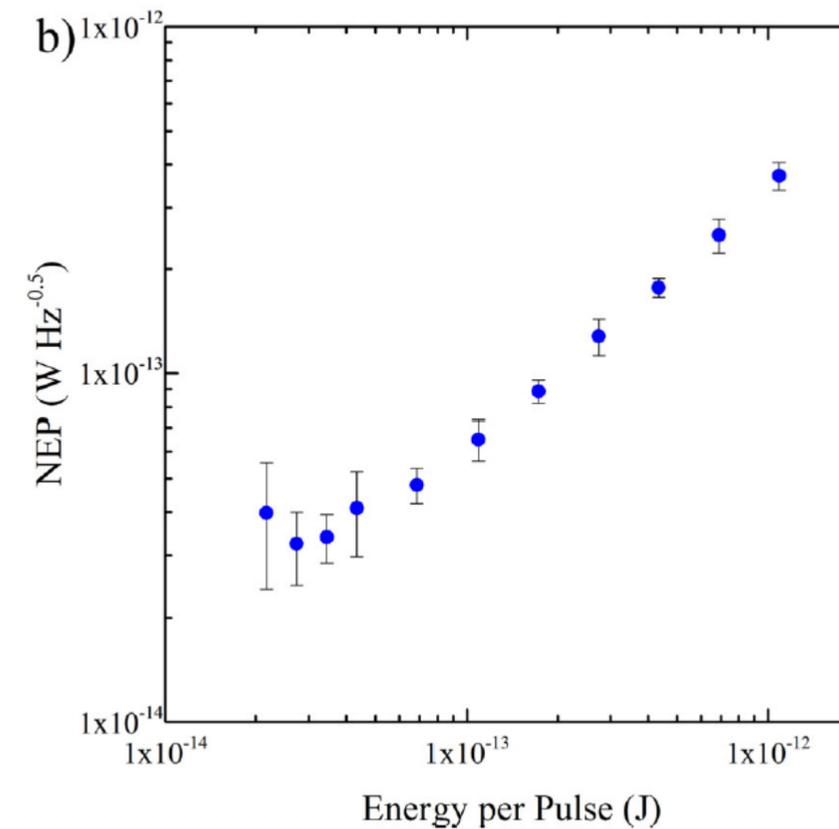
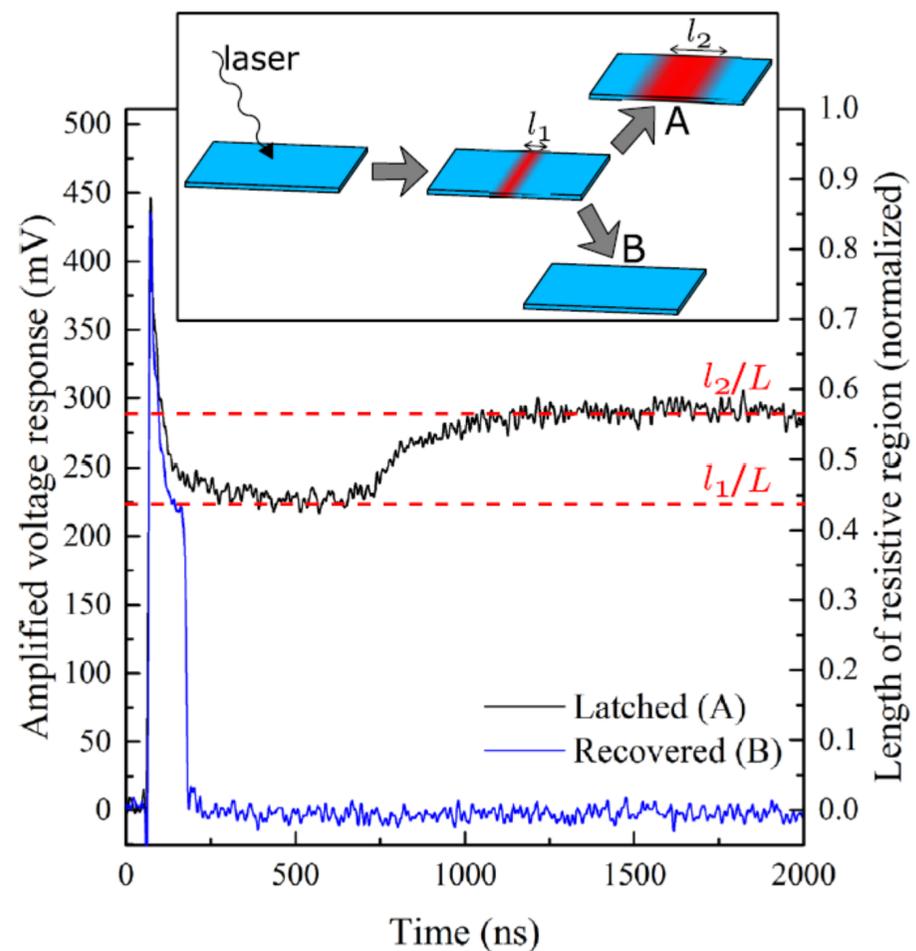
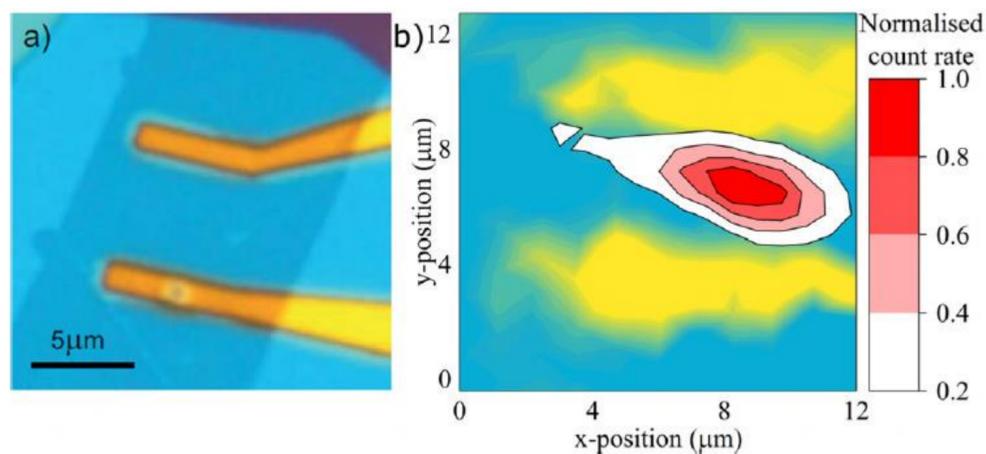
- Исследования двумерных сверхпроводящих материалов для создания детекторов ТГц диапазона
- Исследование механизмов релаксации тепла такого типа детекторов
- Исследование влияния толщины и материала подложки на основные оптические характеристики детекторов
- Изучение влияния структурирования двумерных сверхпроводящих детекторов на их оптические свойства

Двумерный сверхпроводник NbSe₂

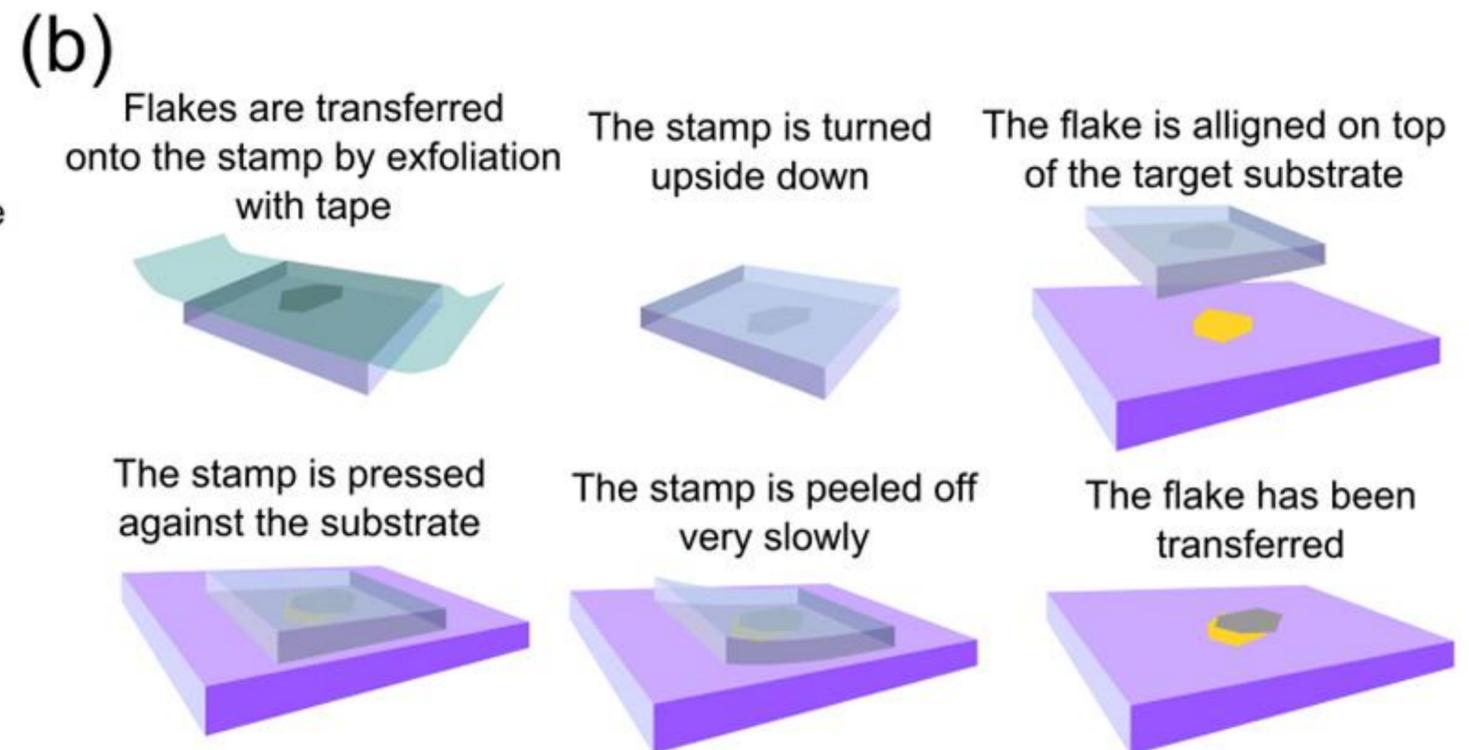
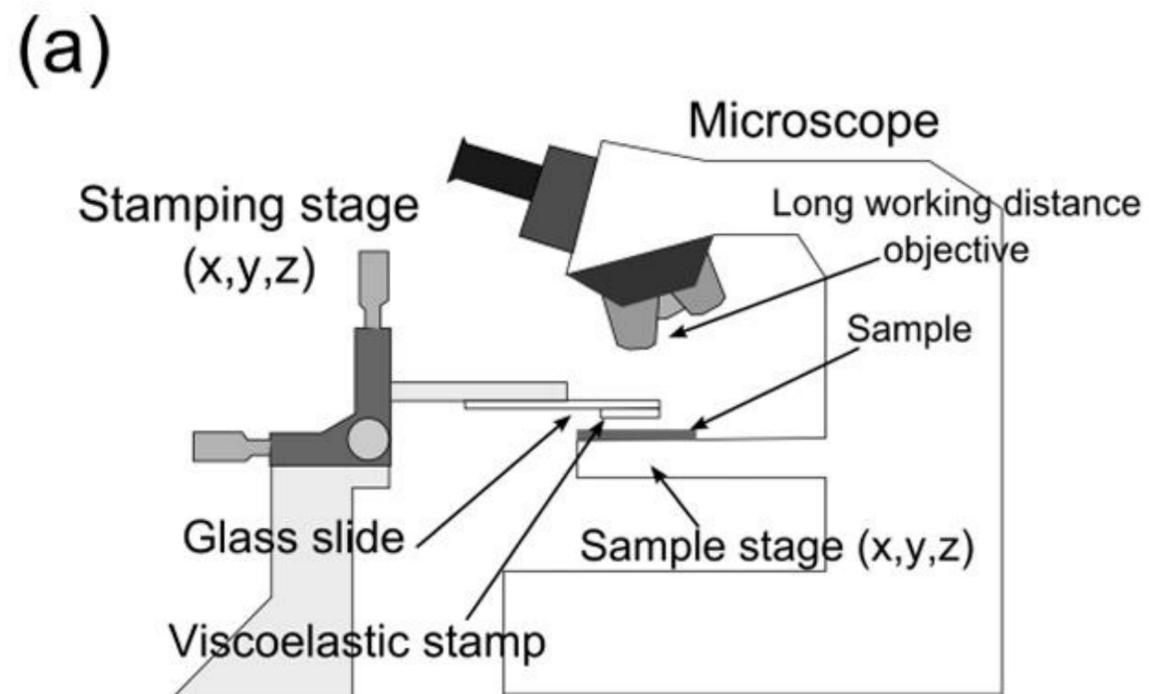
- Сохраняет сверхпроводящее состояние до 1 атомного слоя
- Высокое критическое поле
- Возможность создания уникальных слоистых структур



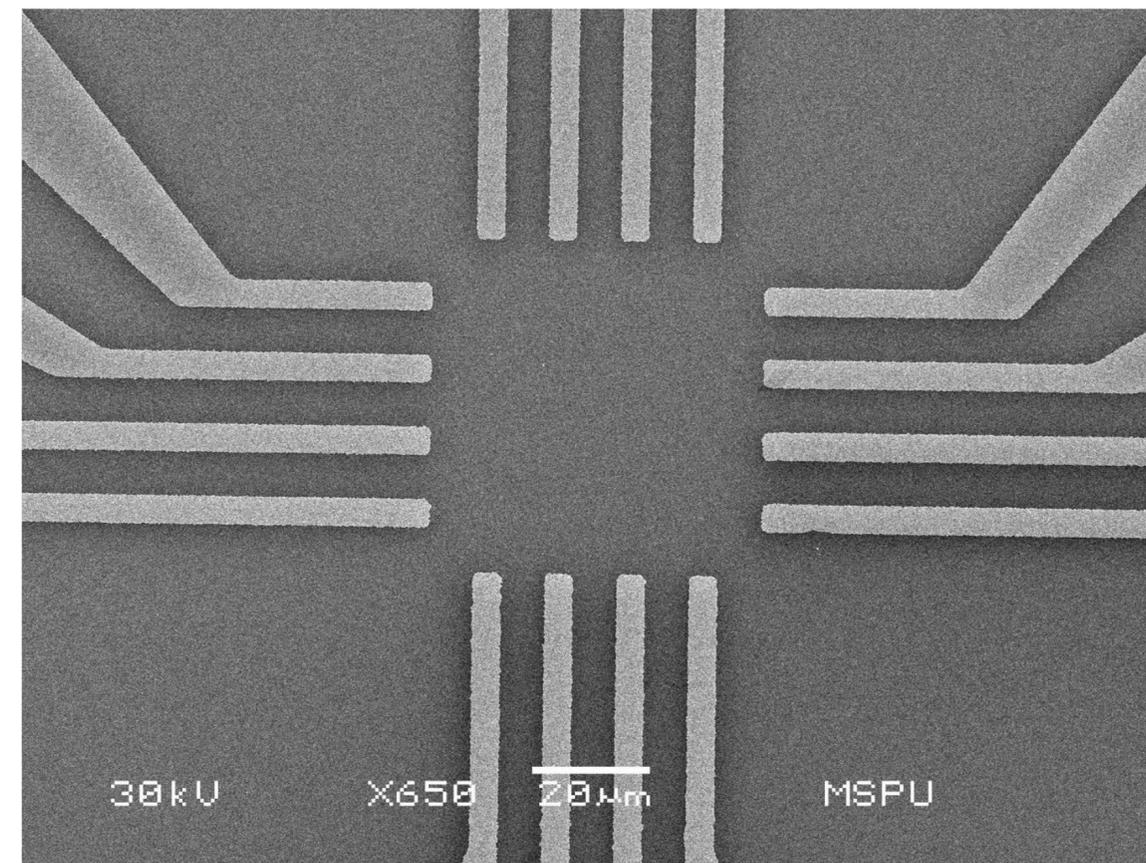
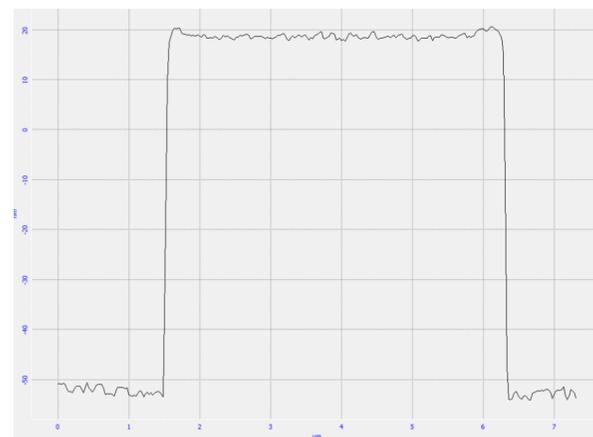
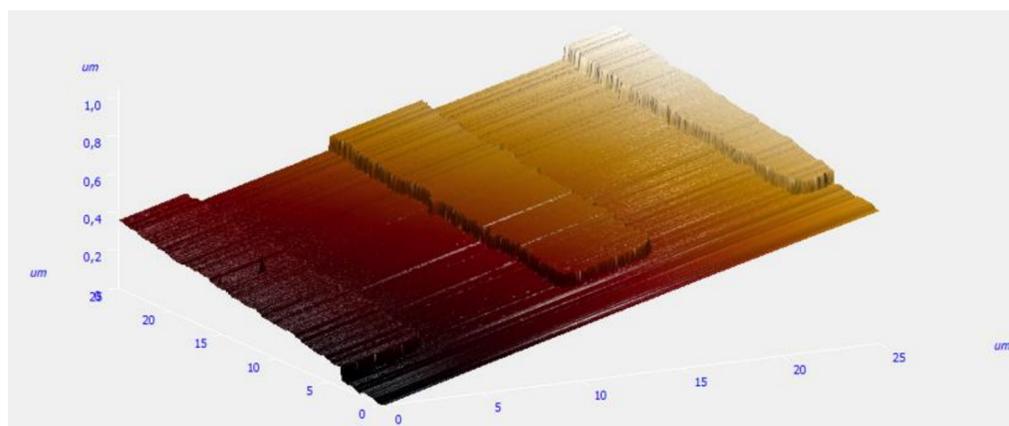
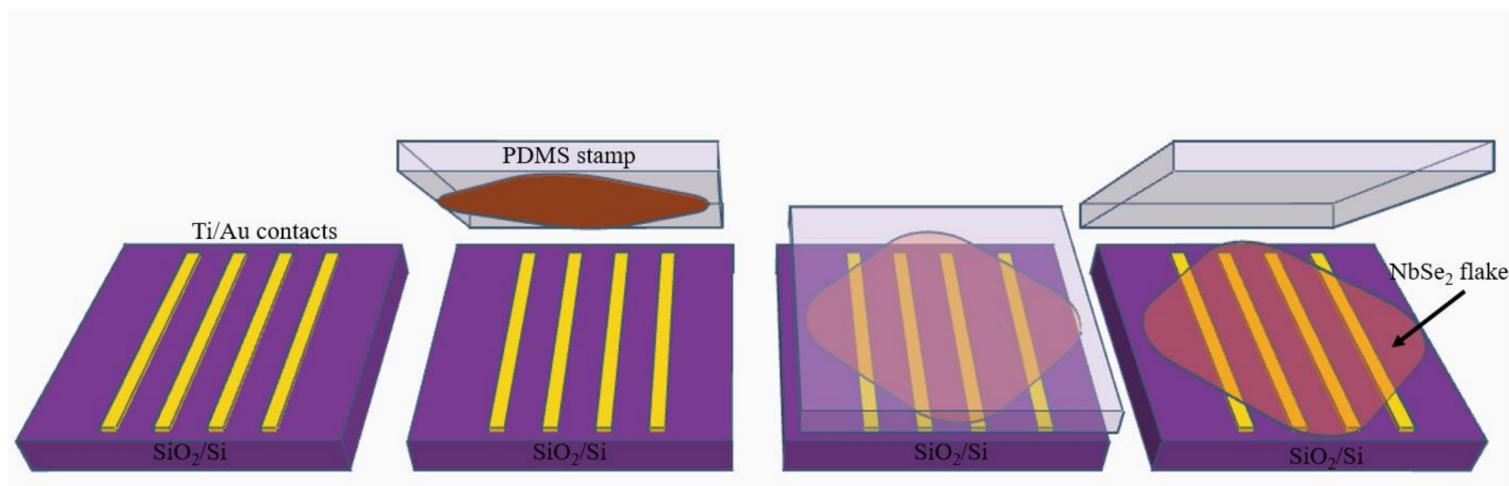
ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



Технология создания двумерных сверхпроводящих структур

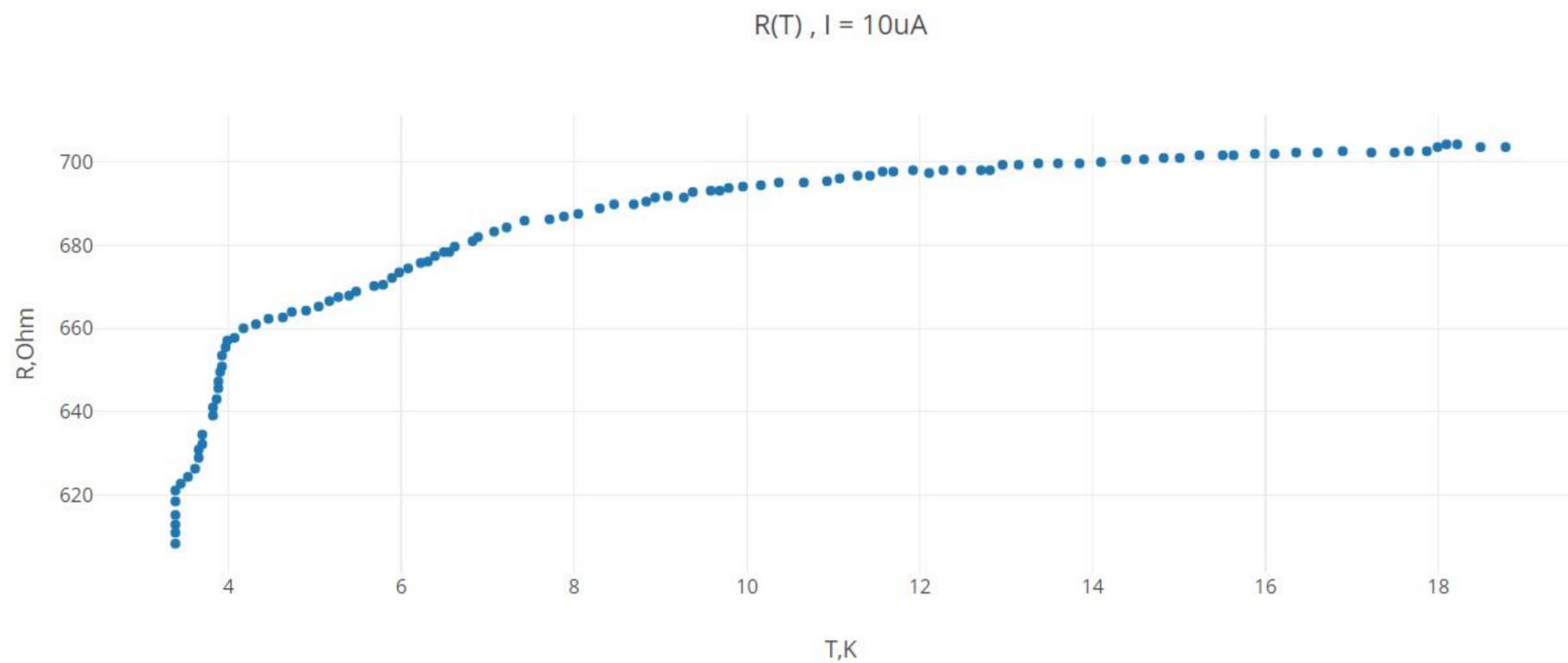
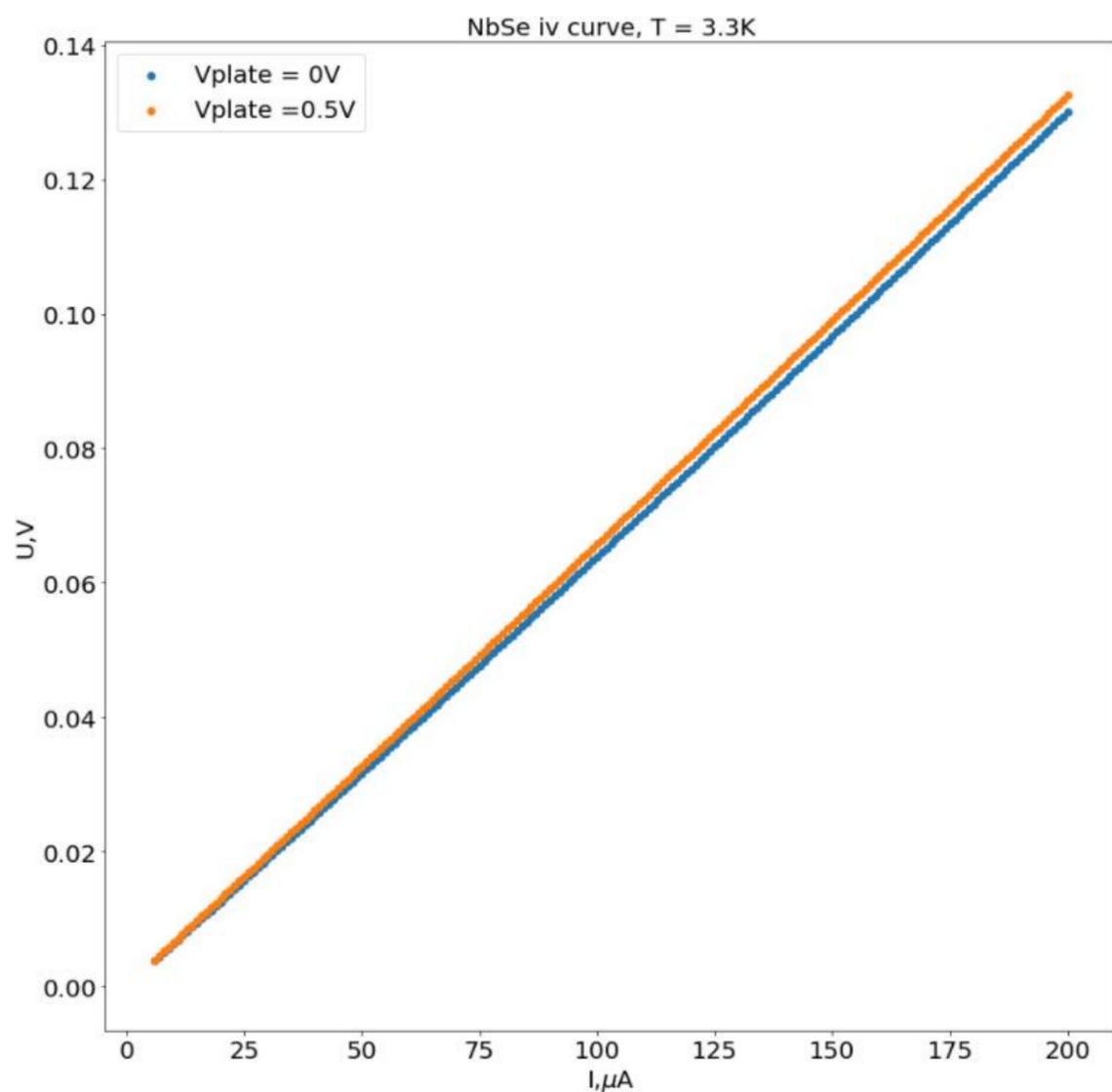


Технология создания контактов к двумерным сверхпроводящим структурам

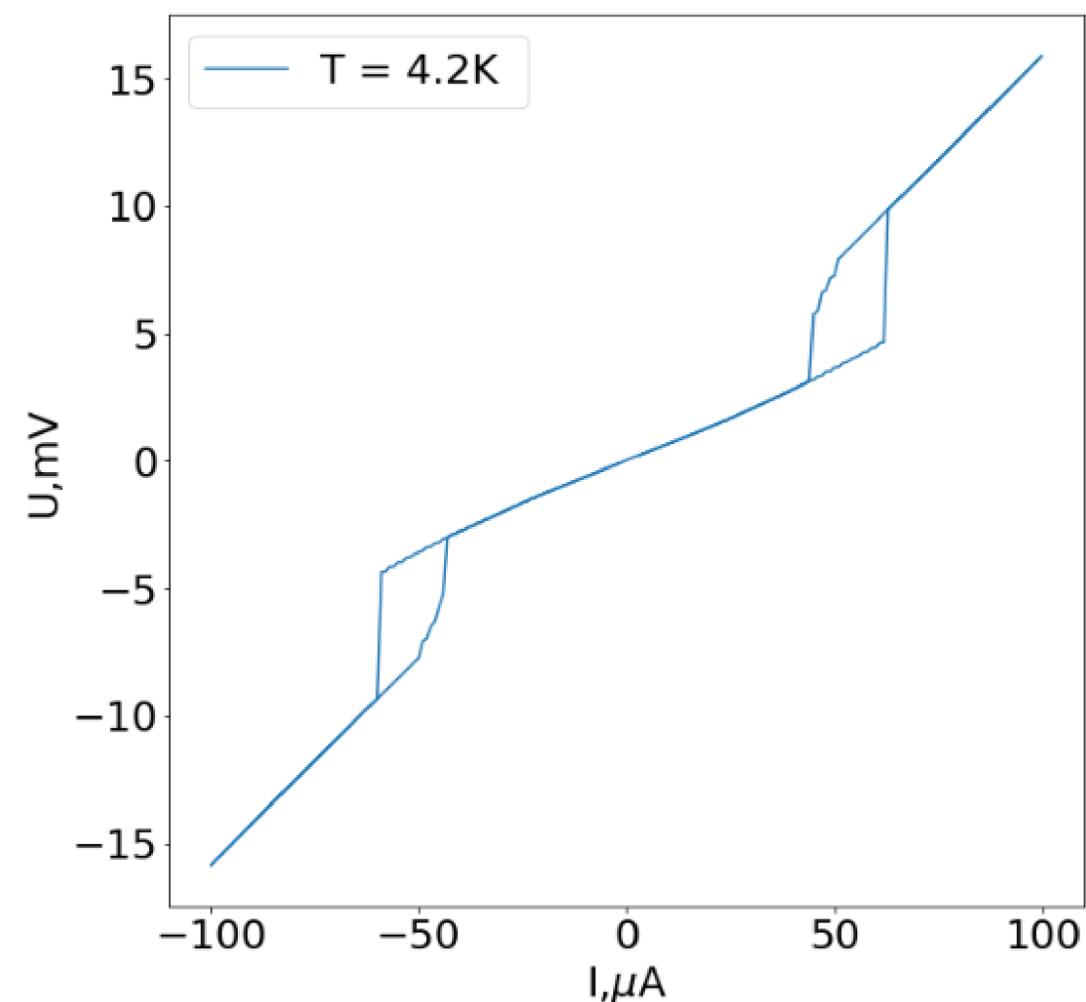
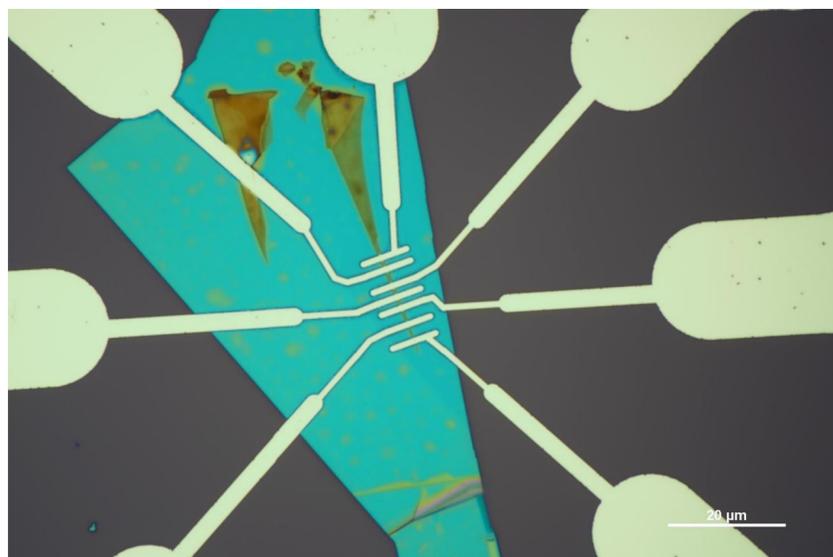
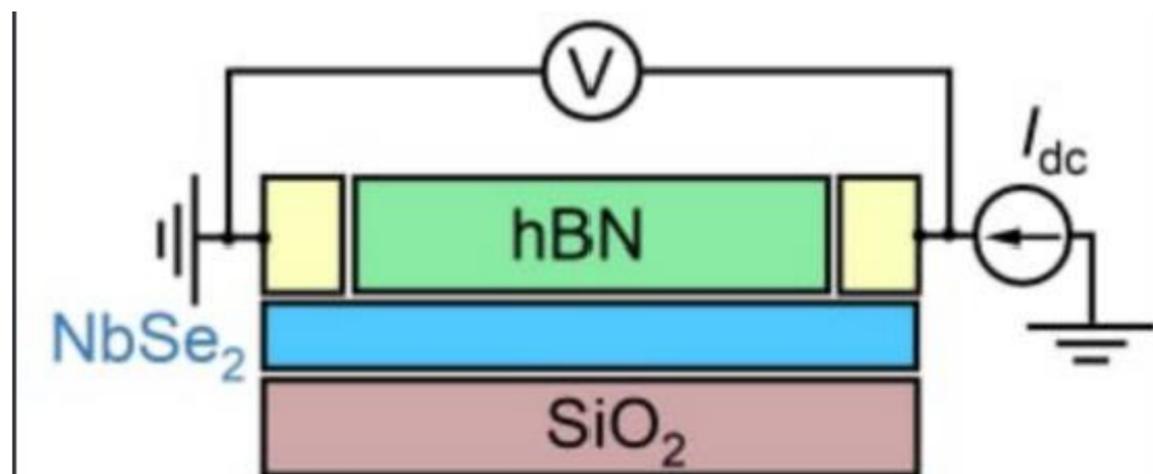




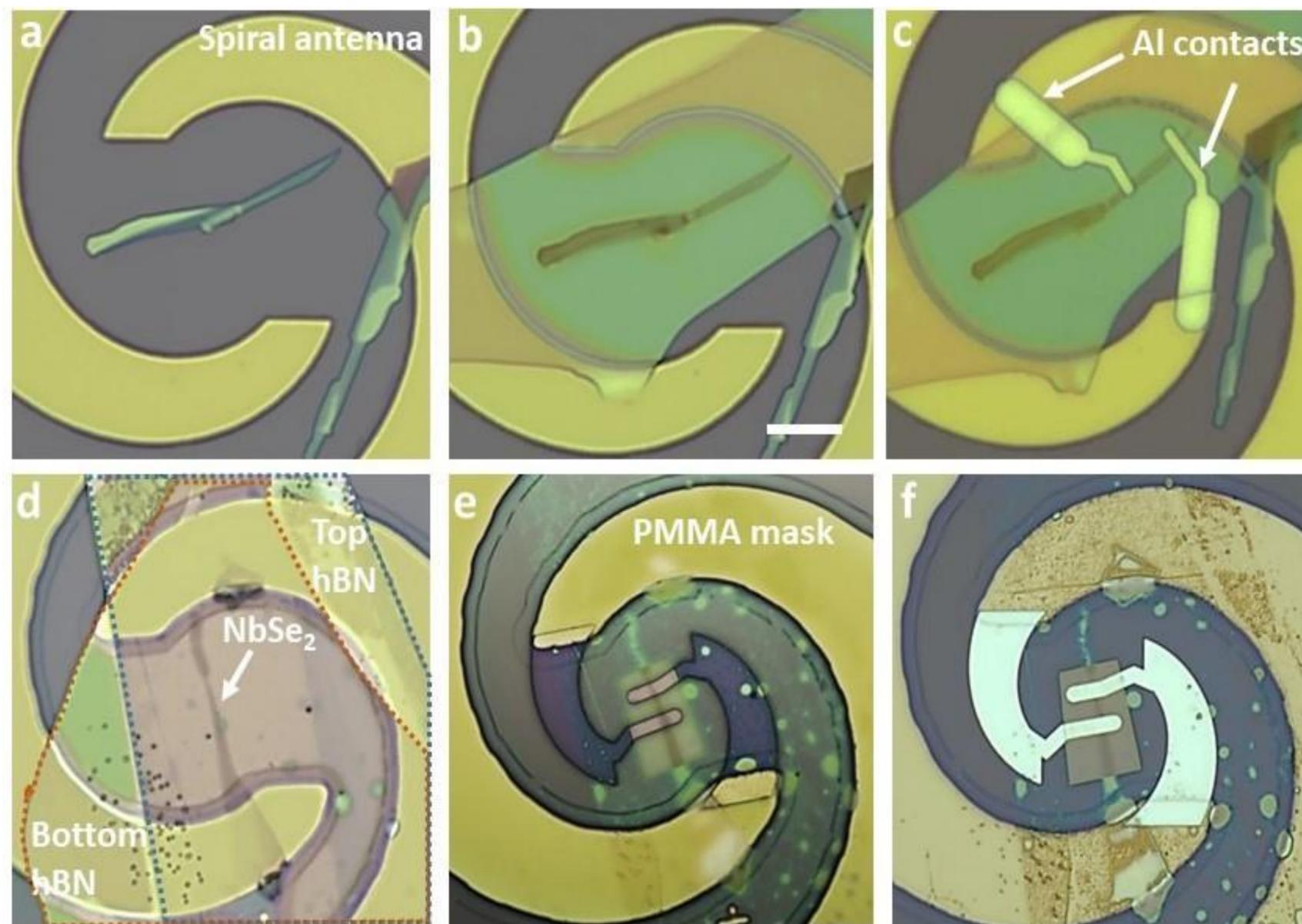
Технология создания контактов к двумерным сверхпроводящим структурам



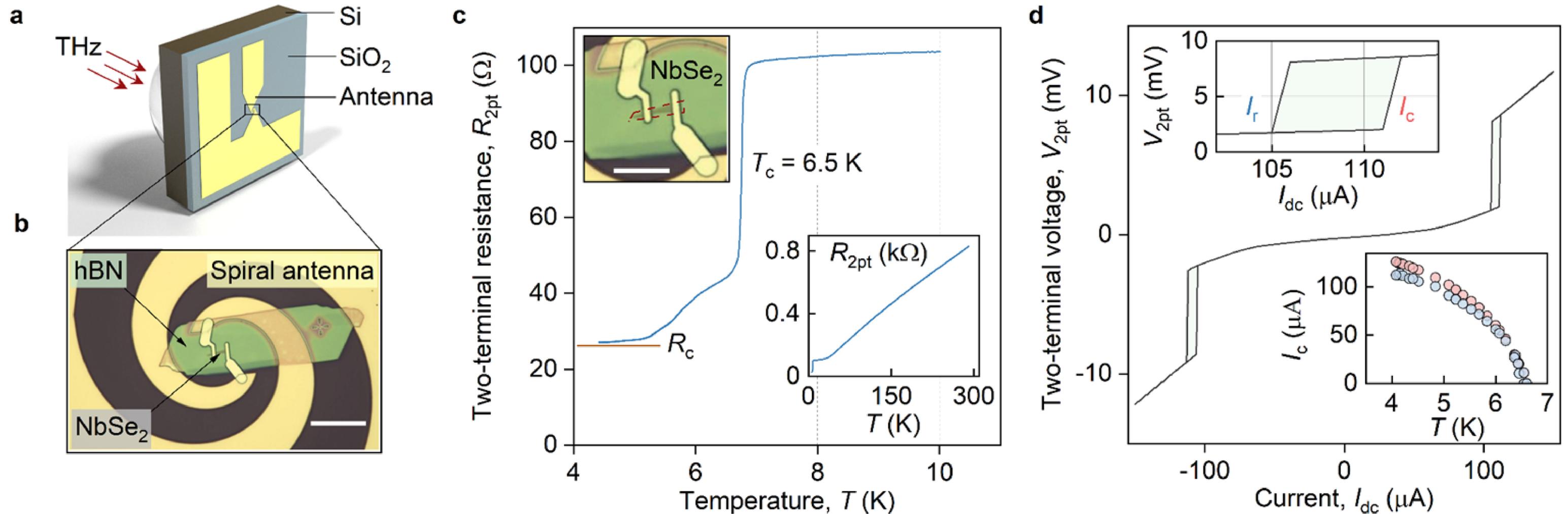
Оптимизация технологии создания контактов к двумерным сверхпроводящим структурам



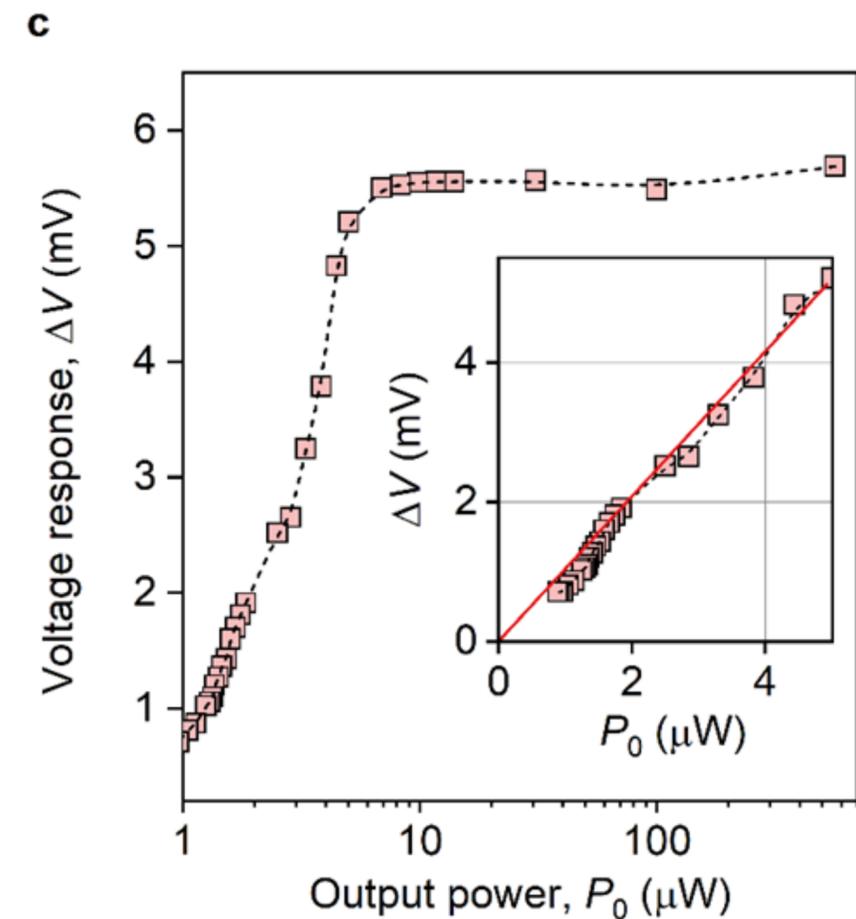
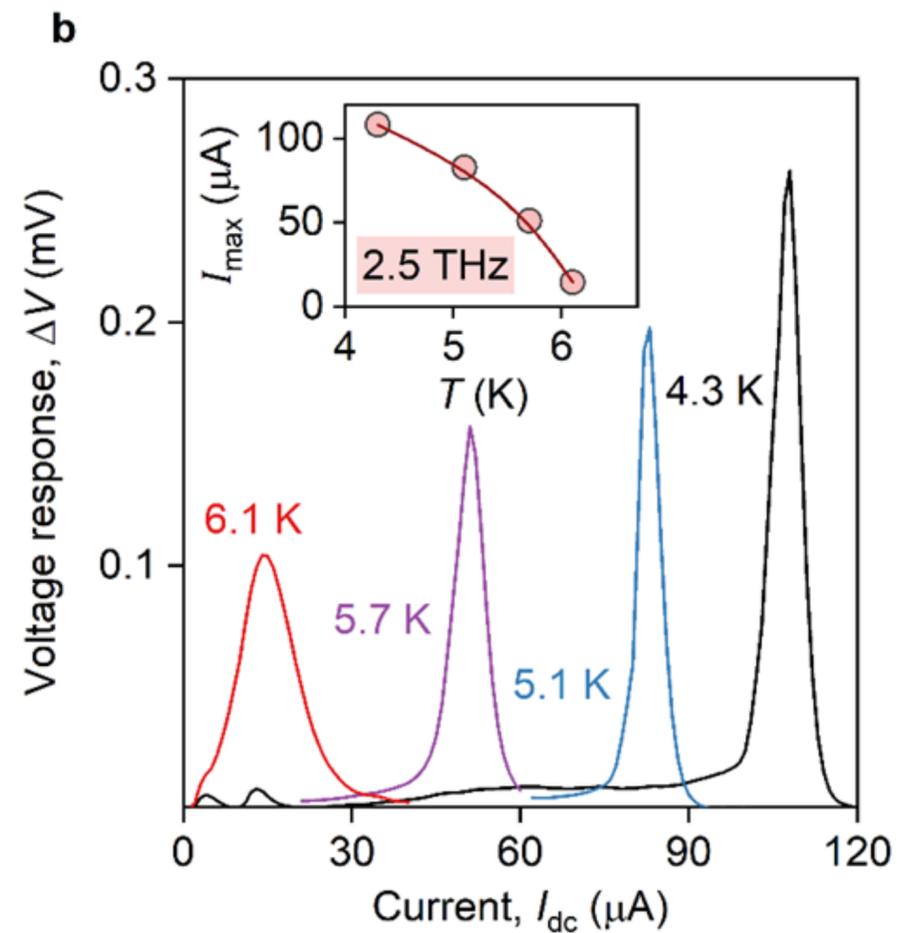
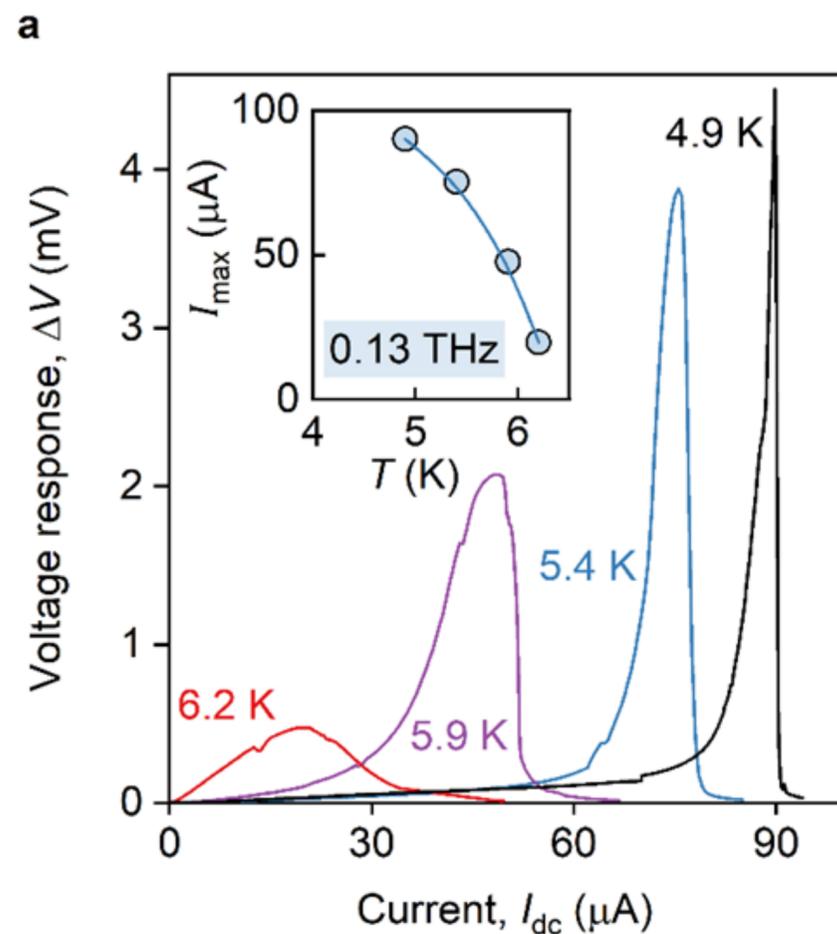
Создание сверхпроводящих болометров на горячих электронах на основе двумерного сверхпроводника



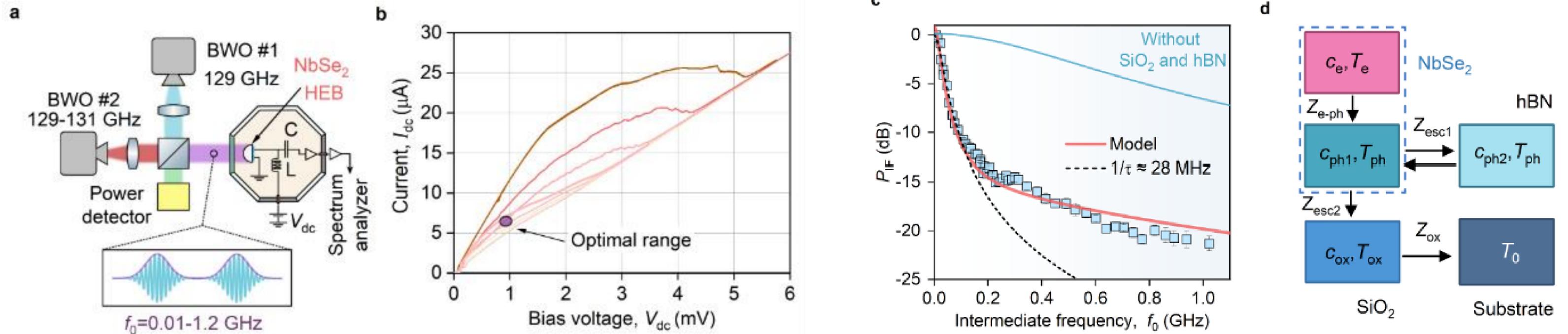
Создание сверхпроводящих болометров на горячих электронах на основе двумерного сверхпроводника



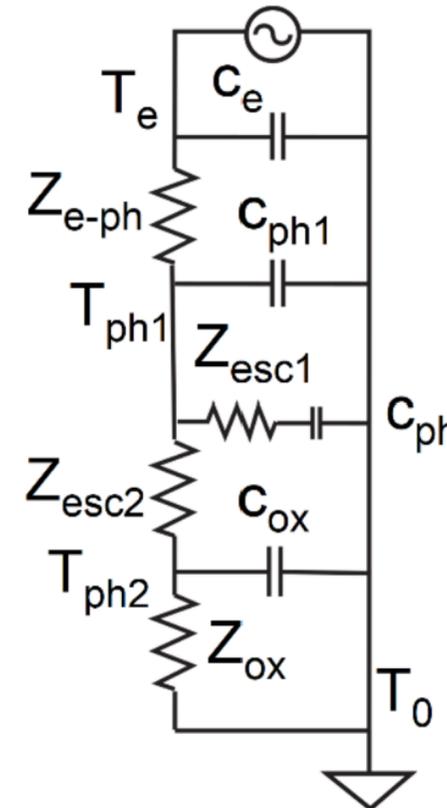
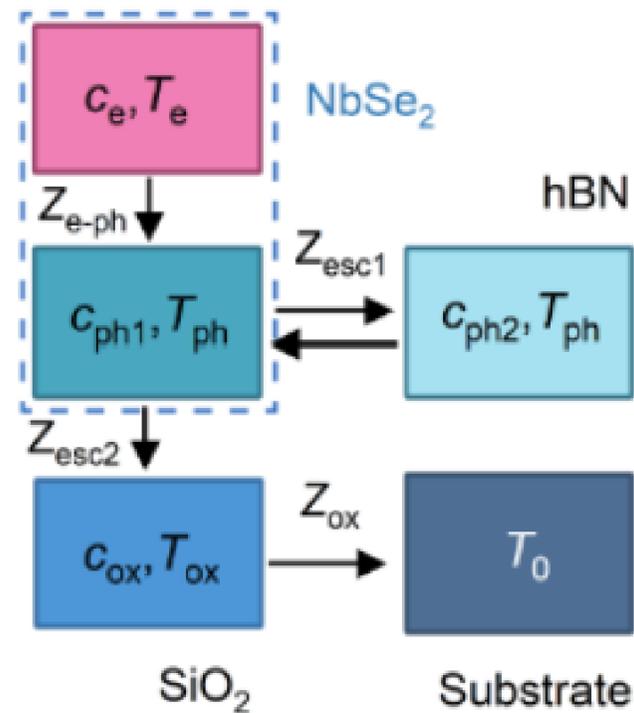
Прямое детектирование сверхпроводящих НЕВ на основе двумерных сверхпроводников



Гетеродинное детектирование сверхпроводящих НЭВ на основе двумерных сверхпроводников



Электротермическая модель релаксации тепла горячих электронов



$$Z_{th} = \frac{1}{j\omega c_e + \left[Z_{e-ph} + \left(j\omega c_{ph1} + \left[Z_{esc1} + \frac{1}{j\omega c_{ph2}} \right]^{-1} + \left[Z_{esc2} + \frac{1}{Z_{ox}^{-1} + j\omega c_{ox}} \right]^{-1} \right)^{-1} \right]^{-1}},$$



Расчет параметров для модели

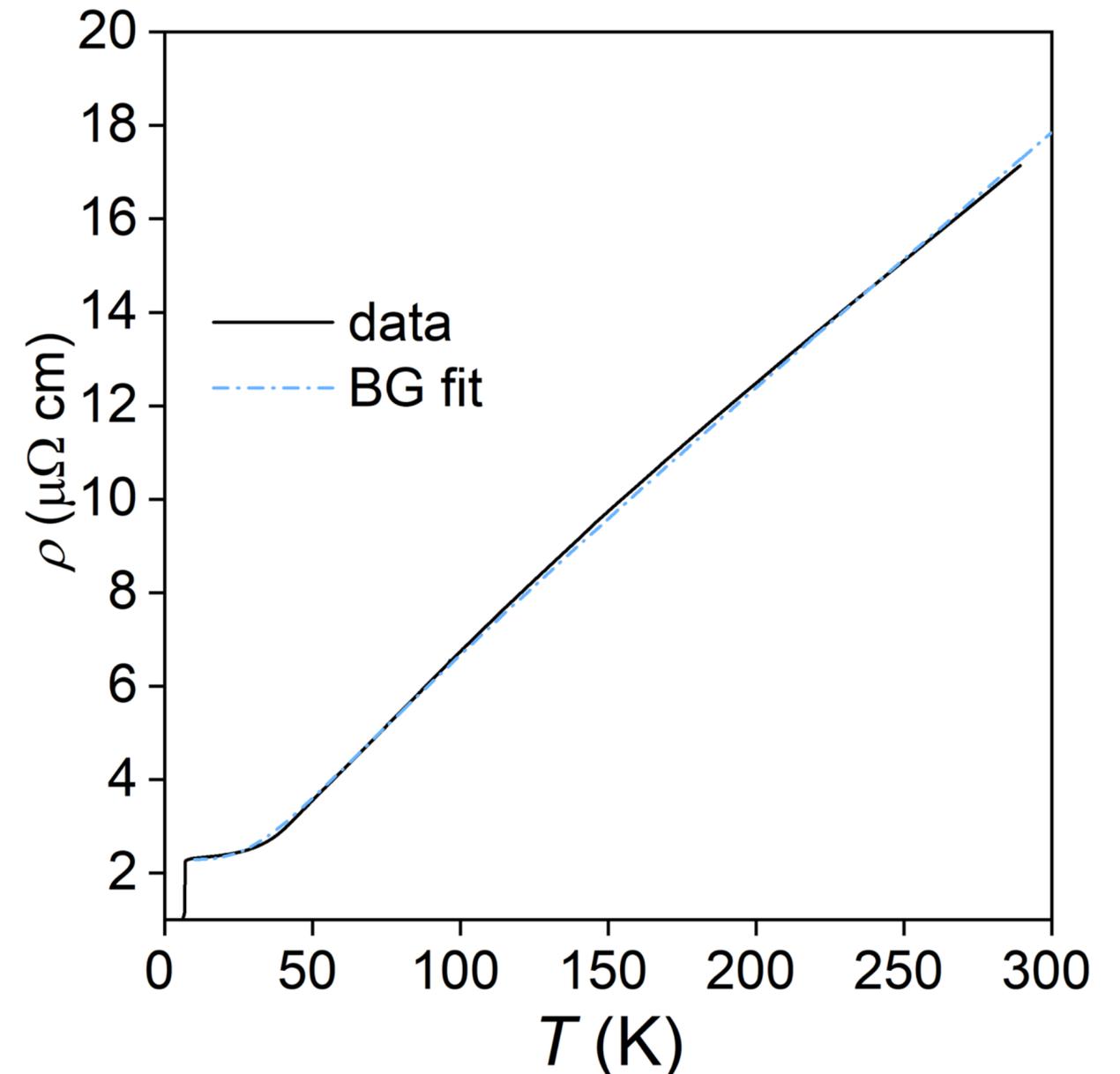
$$\rho(T) = \rho(0) + \rho_{\text{el-ph}}(T)$$

$$\rho_{\text{el-ph}}(T) = \alpha_{\text{el-ph}} \left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^n \int_0^{\frac{\Theta_D}{T}} \frac{x^n}{(e^x - 1)(1 - e^{-x})} dx$$

$$\rho_{\text{el-ph}}(T) = \rho_{\Theta_D} \alpha_R \left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^5 \int_0^{\frac{\Theta_D}{T}} \frac{x^5}{(e^x - 1)(1 - e^{-x})} dx$$

$$\theta_D = \frac{\hbar v_s}{k_B} \left(\frac{6\pi^2 N}{V}\right)^{1/3}$$

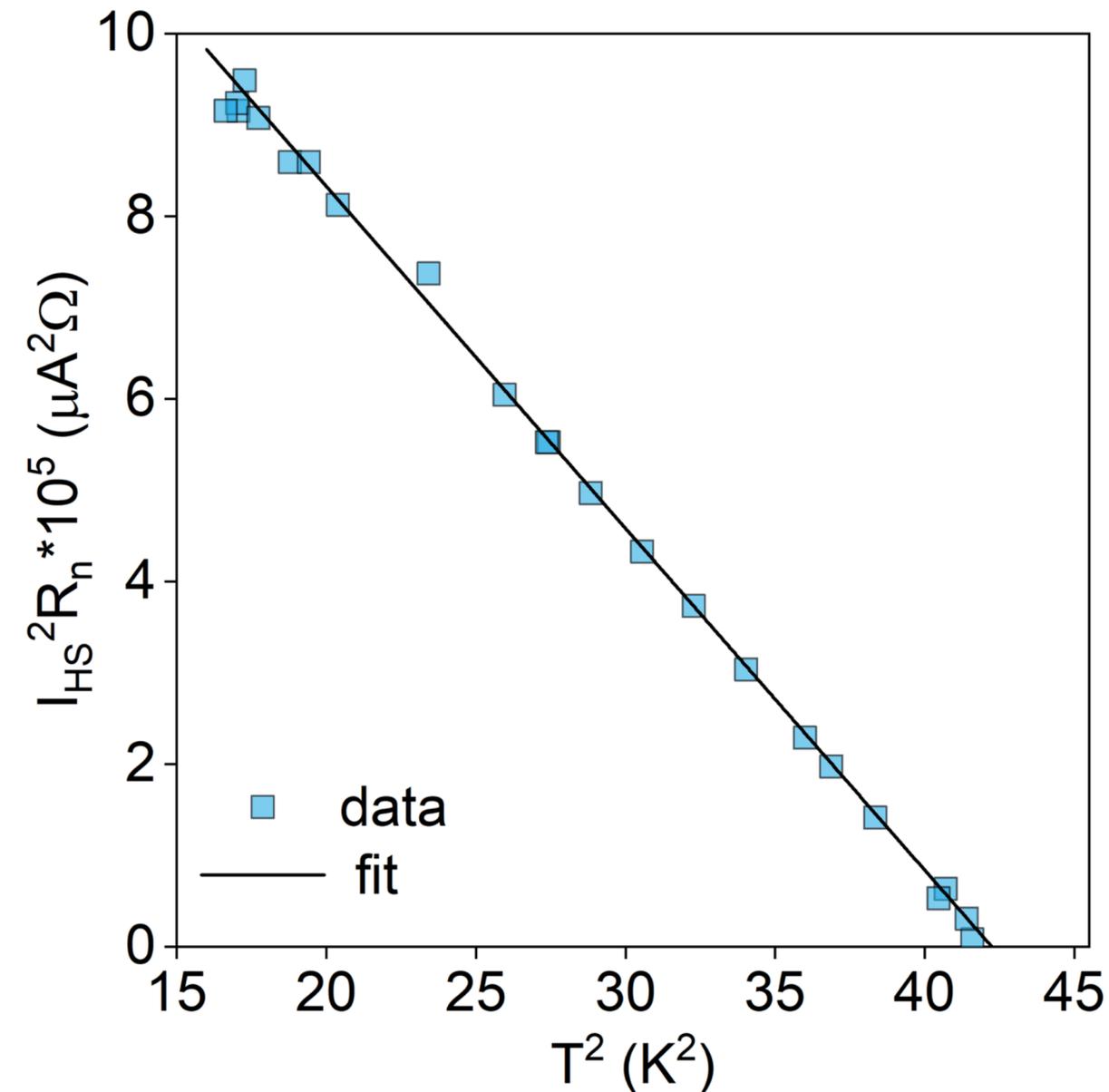
$$v_s = \frac{\theta_D k_B}{\hbar} \left(\frac{6\pi^2 N}{V}\right)^{-1/3}$$



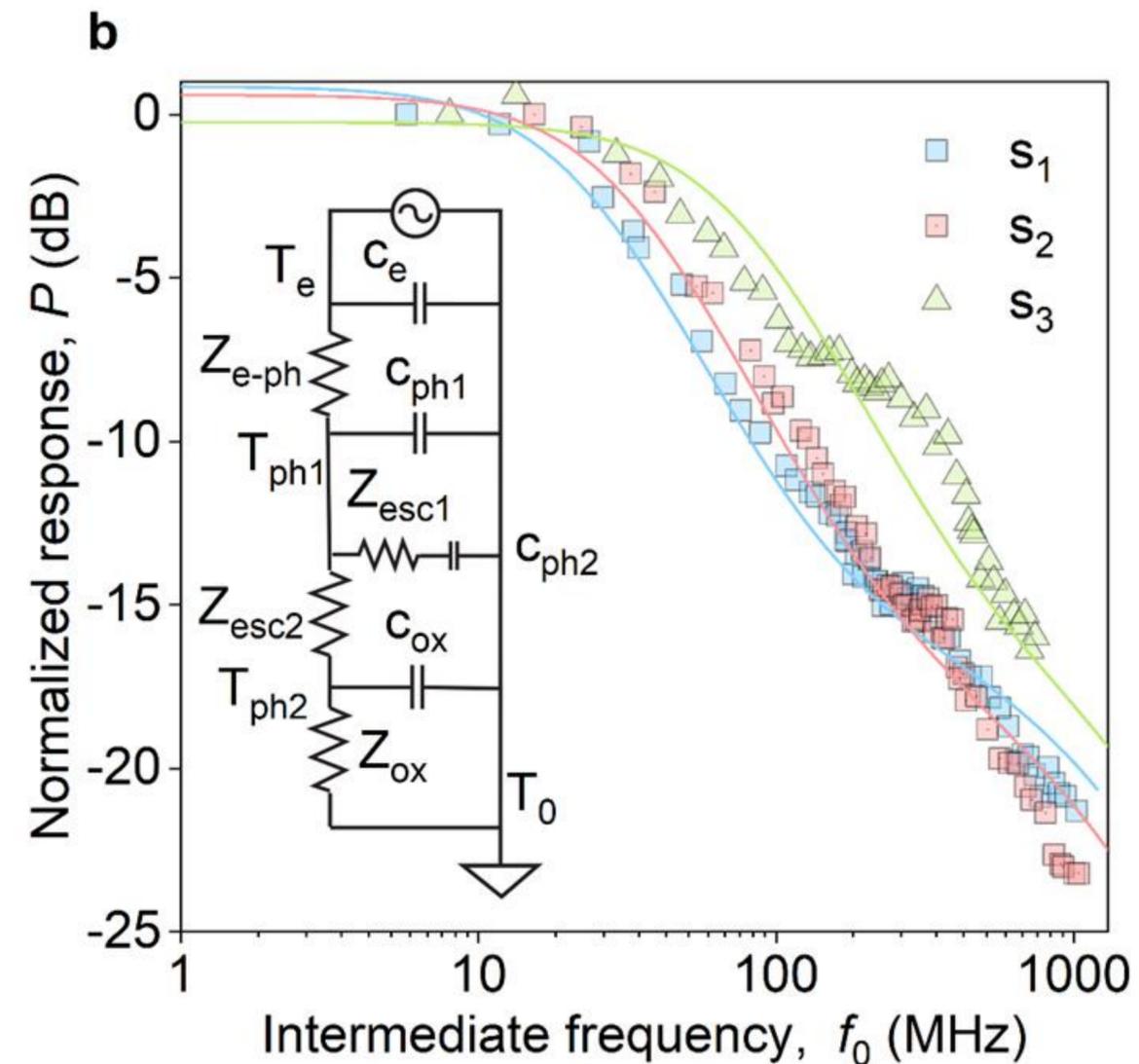
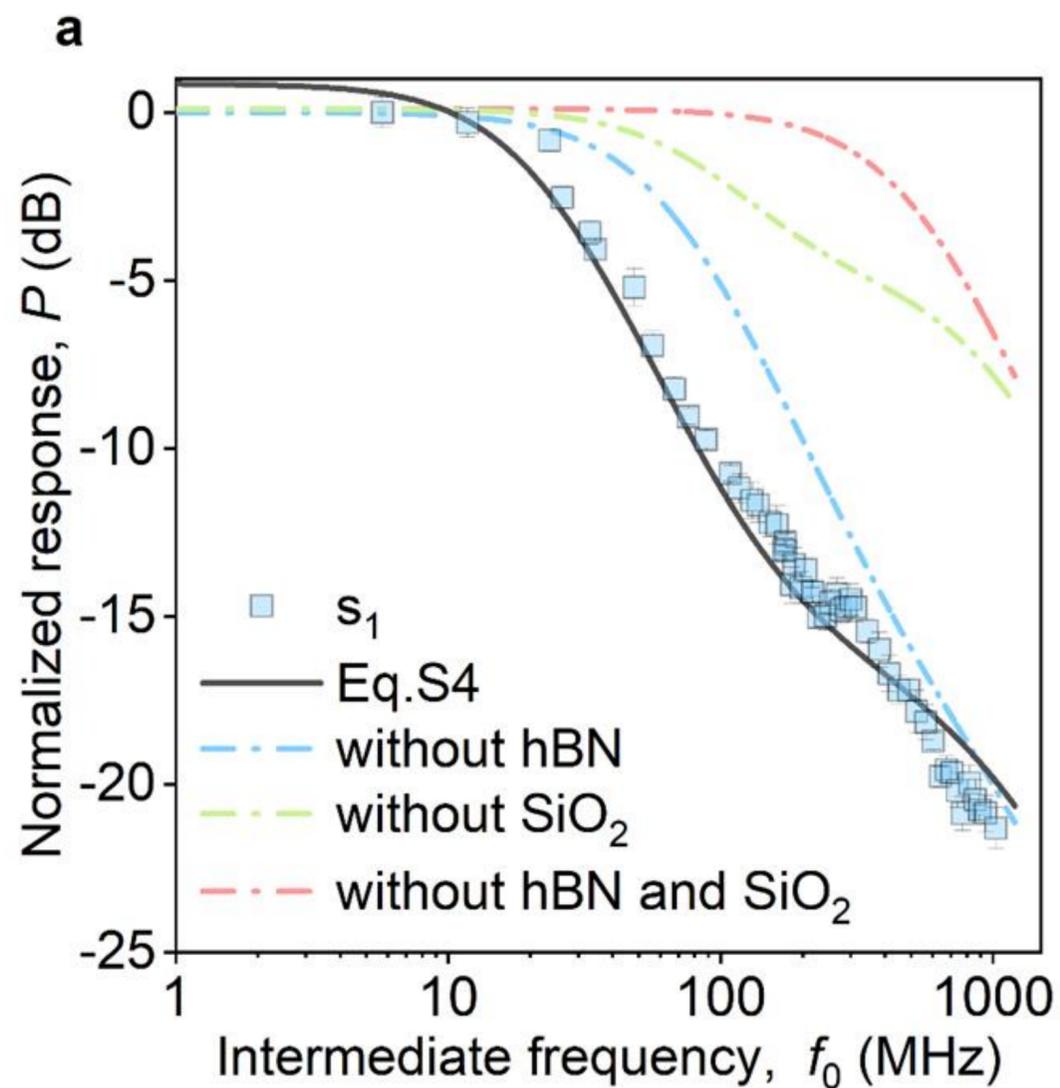


Расчет параметров для модели

$$I_{hs}^2 R_n = \Sigma_{2D} A (T_c^n - T_b^n)$$



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДЛОЖКИ





ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Представлен болометр на горячих электронах на основе двумерного сверхпроводника NbSe_2
- Измерена вольт - ваттная чувствительность детектора ($\approx 3000 \text{ В/Вт}$)
- Измерена мощность пропорциональная шуму ($\approx 7 \text{ пВт/Гц}^{0.5}$)
- Проведена оценка быстродействия детектора ($\approx 400 \text{ МГц}$)
- Предложен механизм ограничения быстродействия детектора связанная с аморфным диэлектриком
- Предложена модель релаксации горячих электронов в двумерных сверхпроводящих детекторах