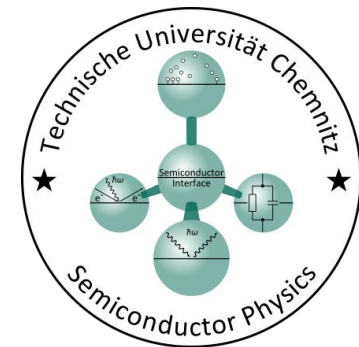


Плазмон-усиленная наноскопия перспективных материалов микро- и наноэлектроники

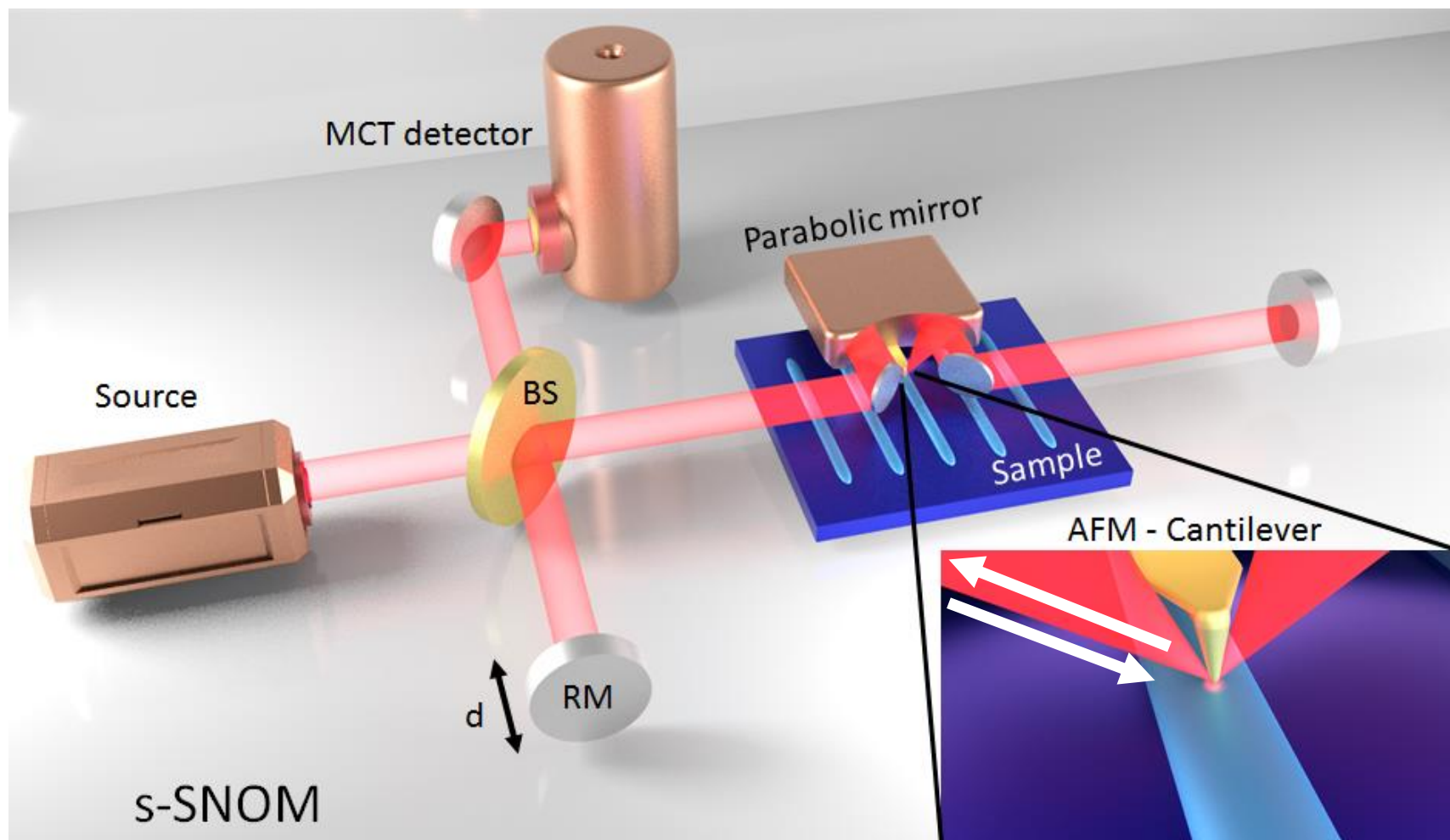


План доклада

1. Методы нанодиагностики: нано-ИК, нано-КРС и нано-ФЛ
2. Применение нано-ИК спектроскопии для определения состава оксида X в нанопроволоке SiO_x на наномасштабе
3. Метод нано-ФЛ для наблюдения эмиссии темных экситонов при комнатной температуре в монослое WSe_2
4. Управление экситонами в режиме квантового туннелирования в гибридных структурах металл/2D полупроводник методом нано-ФЛ
5. Комбинация методов нано-КРС и нано-ИК для исследования поверхностных оптических фононов AlN

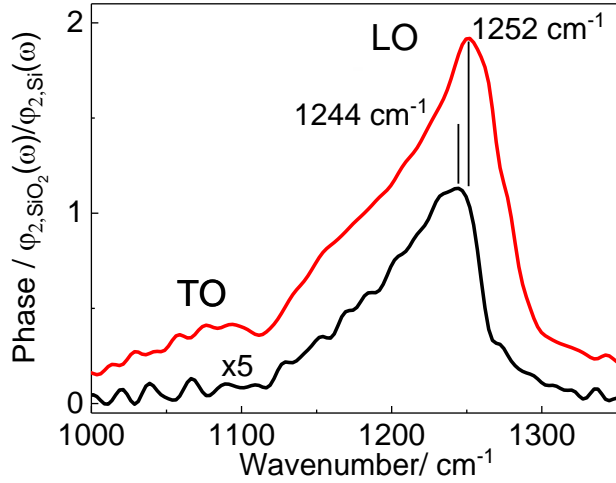
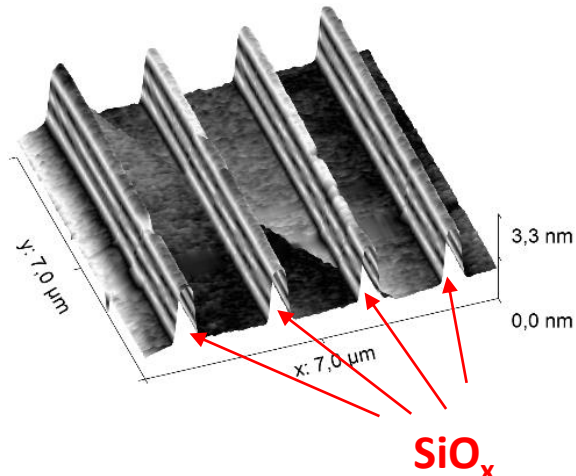
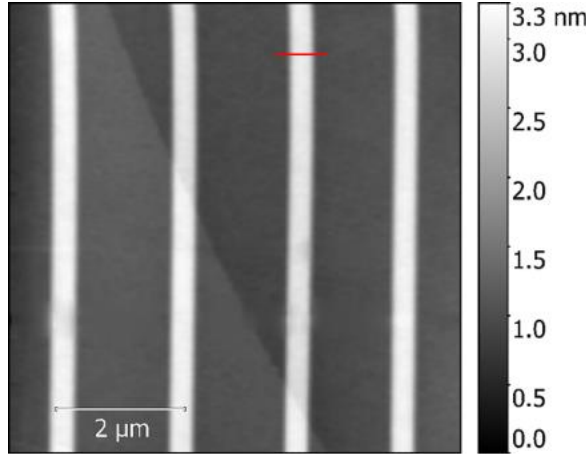


Принцип nano-ИК спектроскопии



Создание нанопроволок SiO_x методом локального анодного окисления

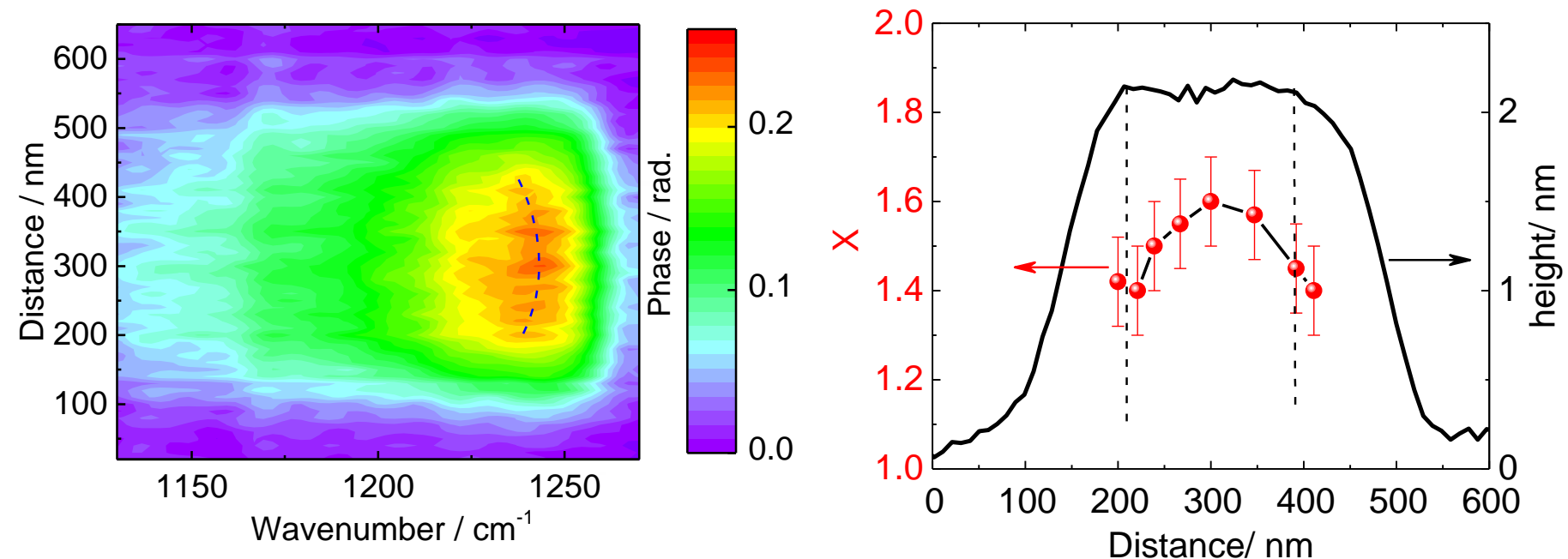
Подложка Si (111)



Сдвиг частоты LO-фона обусловлен разной толщиной оксида (20 и 2 нм)



Нано-ИК спектроскопия нанопроволок SiO_x



Положение максимума в ИК-спектрах уменьшается с 1244 до 1238 cm^{-1} при сканировании от центра к краю нанопроволоки SiO_x

Сдвиг LO-фонона ($(8 \pm 2) \text{ cm}^{-1}$) объясняется нестехиометрией слоя оксида кремния

Нано-ИК спектроскопия позволяет определять локальный состав



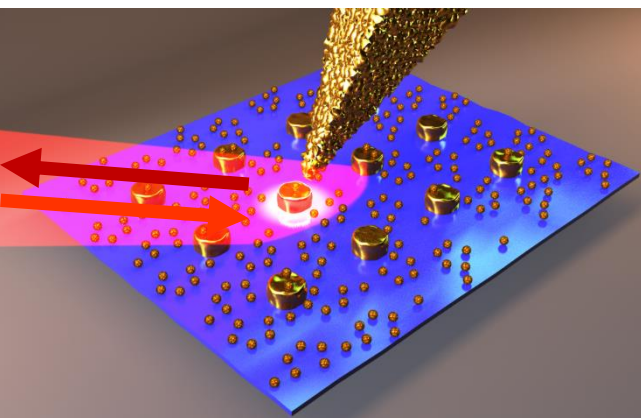
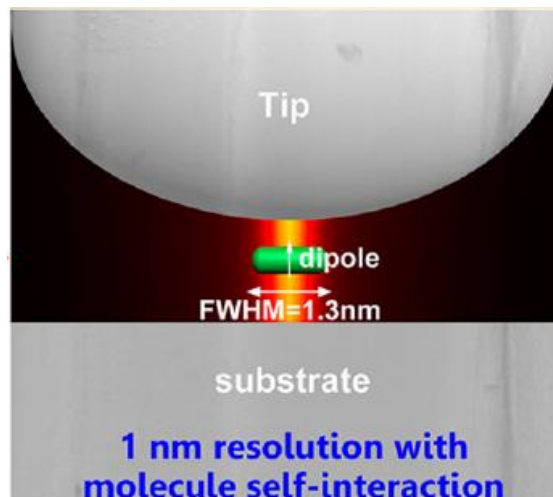
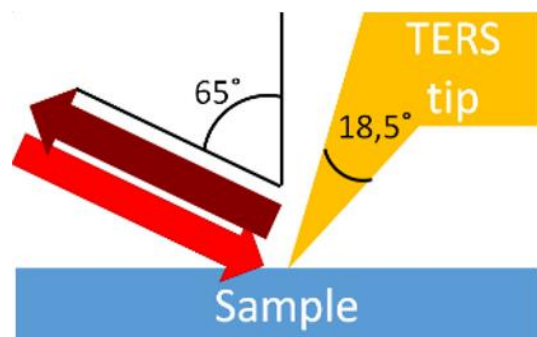
Принцип нано-КРС и нано-ФЛ

Optical Origin of Subnanometer Resolution in Tip-Enhanced Raman Mapping

Chao Zhang, Bao-Qin Chen, and Zhi-Yuan Li*

Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 603, Beijing 100190, China

DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b02653
J. Phys. Chem. C 2015, 119, 11858–11871



Установка нано-КРС - Horiba XPlorA Nano

- Коэффициент усиления нано-ФЛ $\sim E^2$ (2-3 порядка)
- Коэффициент усиления нано-КРС $\sim E^4$ (5-6 порядков)
- КРС и ФЛ картирование с нанометровым пространственным разрешением

Наблюдение эмиссии темных экситонов при комнатной температуре в монослое WSe₂

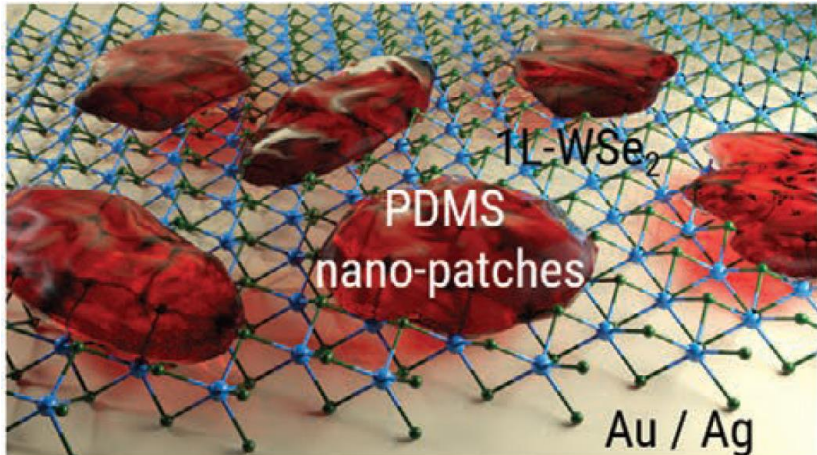
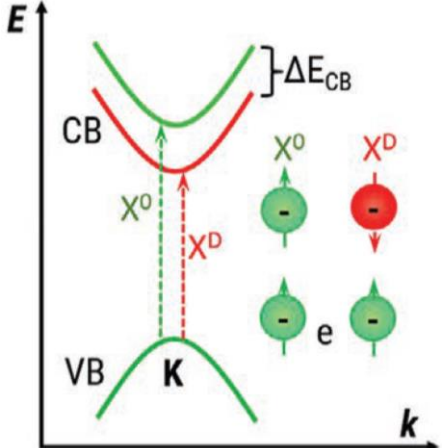
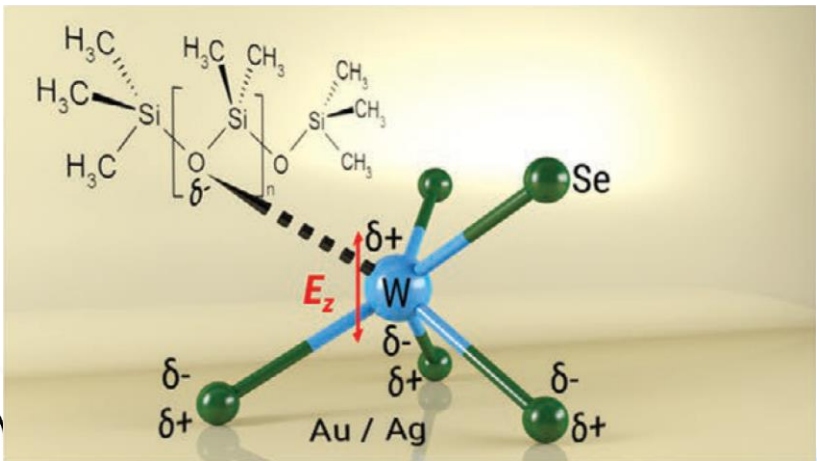


Схема монослоя WSe₂, зажатого между Au (или Ag) и наночастицами полидиметилсилоксана



Спиновые оптические переходы в монослое WSe₂

Сильный внеплоскостной электростатический дипольный момент позволяет наблюдать темные экситоны при комнатной температуре

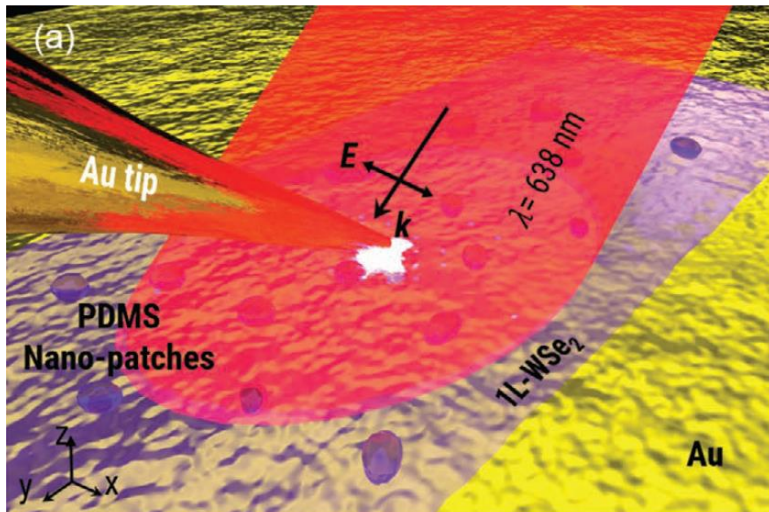


Формирование внеплоскостного диполя:

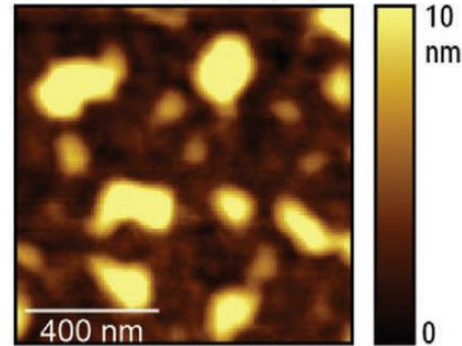
- 1) Электрическое поле между металлизированной иглой с подложкой металла
- 2) Полярная связь Si-O в PDMS



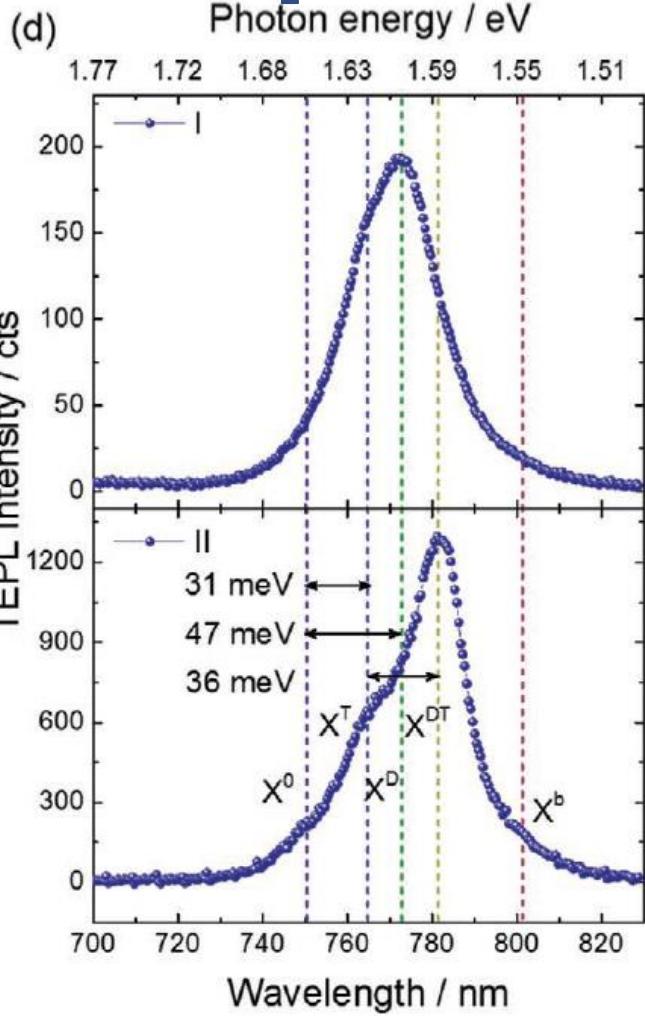
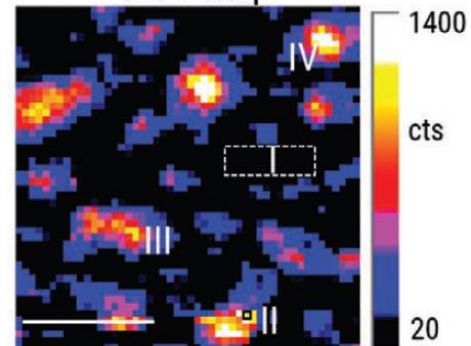
Наблюдение эмиссии темных экситонов при комнатной температуре в монослое WSe₂



(b) AFM topography



(c) TEPL map

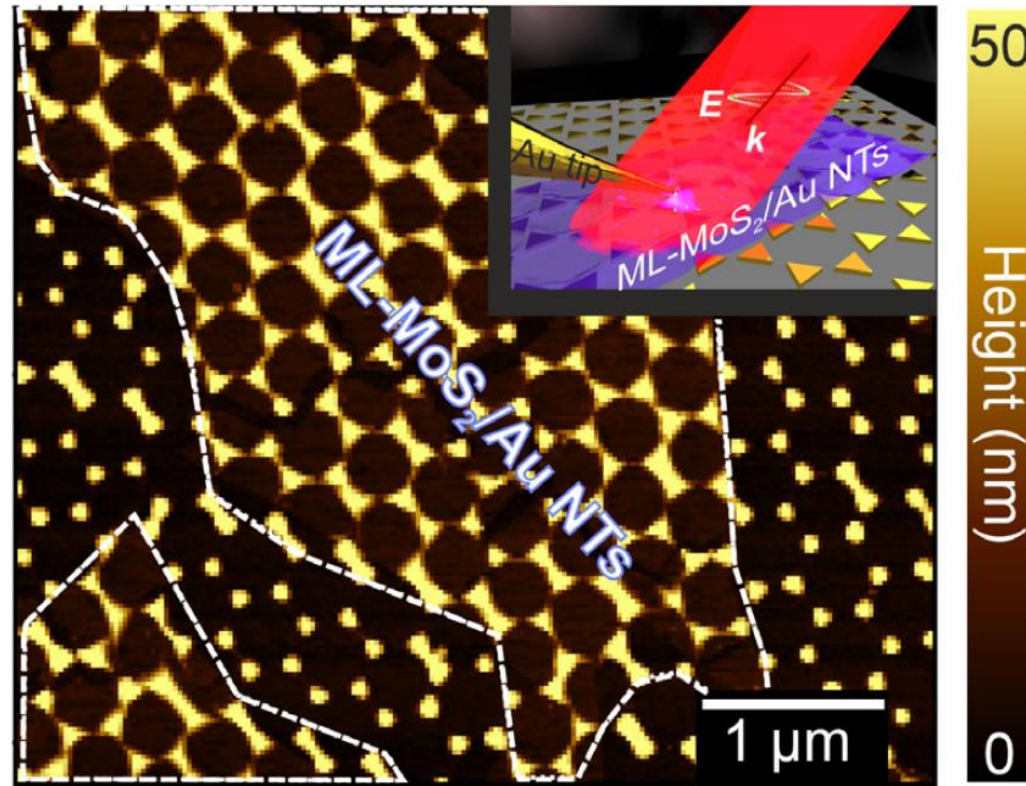


пространственным разрешением <10 нм

Усиление 6–10 раз



Управление экситонами в режиме квантового туннелирования в гибридных структурах металл/2D полупроводник

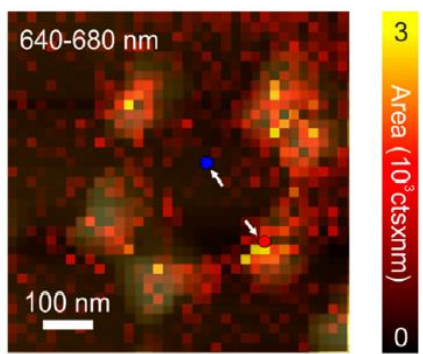
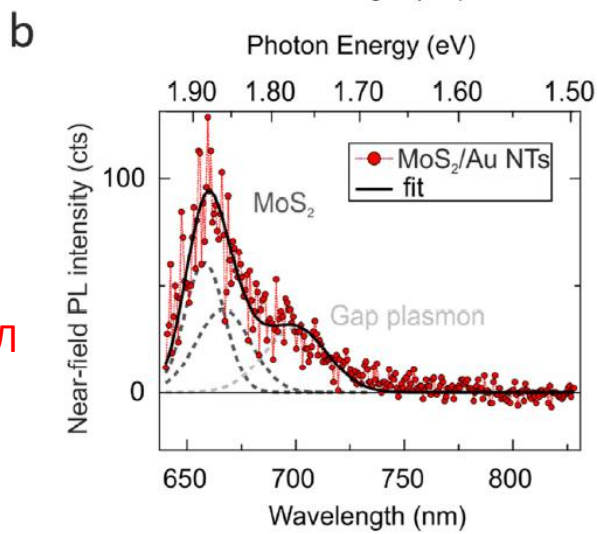
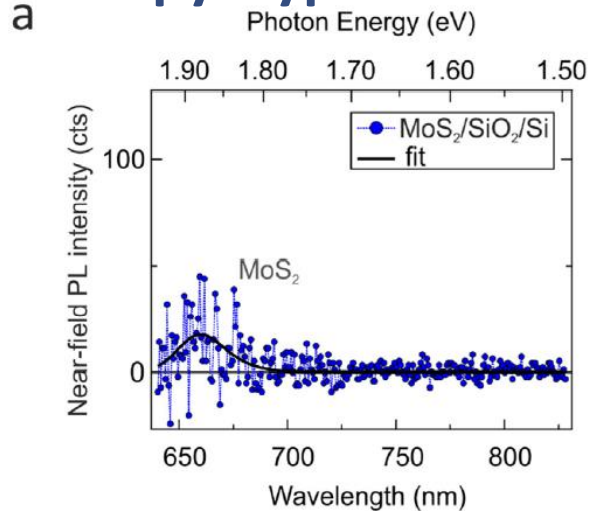


АСМ-сканирование монослоя MoS₂/ Au нанотреугольников

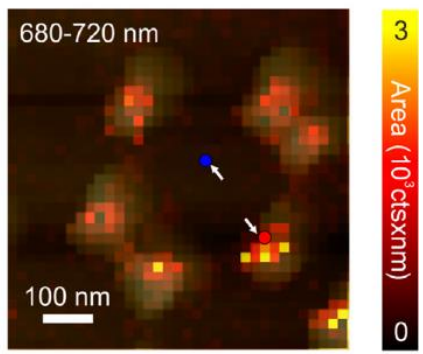
Вставка: схема эксперимента нано-ФЛ

Управление экситонами в режиме квантового туннелирования в гибридных структурах металл/2D полупроводник

Обычная нано-ФЛ



Изображение нано-ФЛ наложено на АСМ-изображения

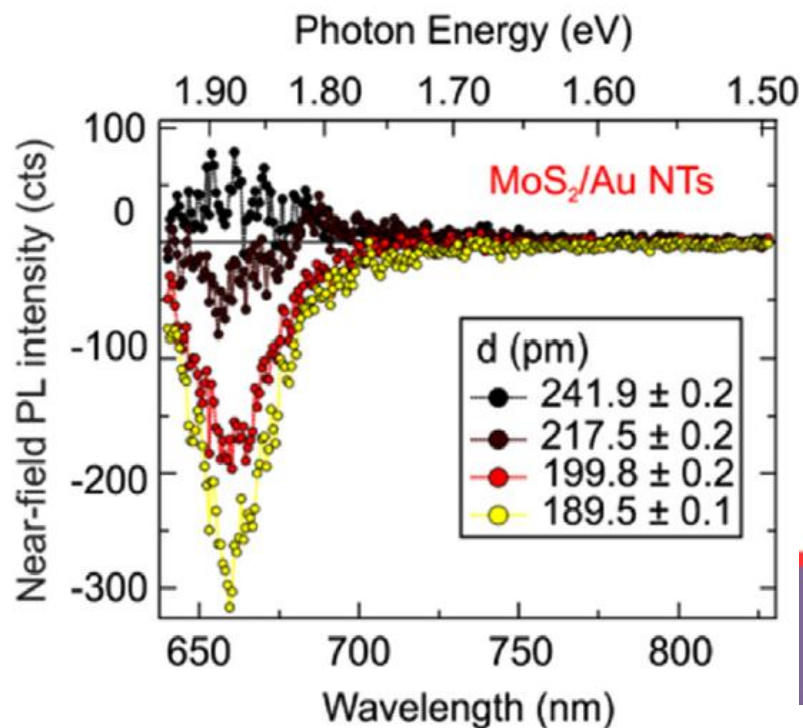


Активация Windows
Чтобы активировать Wind

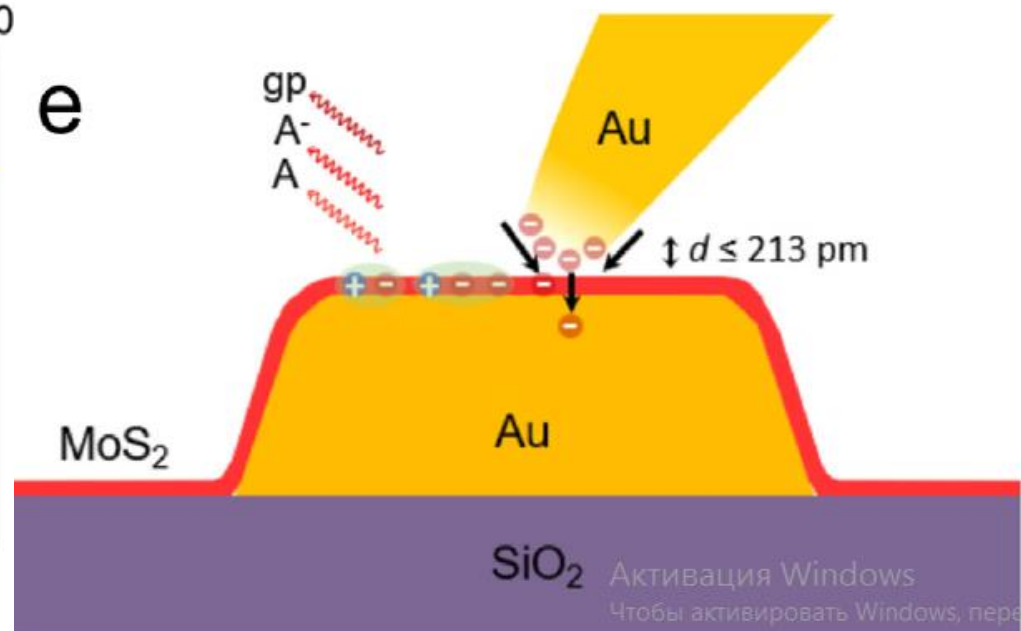


Управление экситонами в режиме квантового туннелирования в гибридных структурах металл/2D полупроводник

а



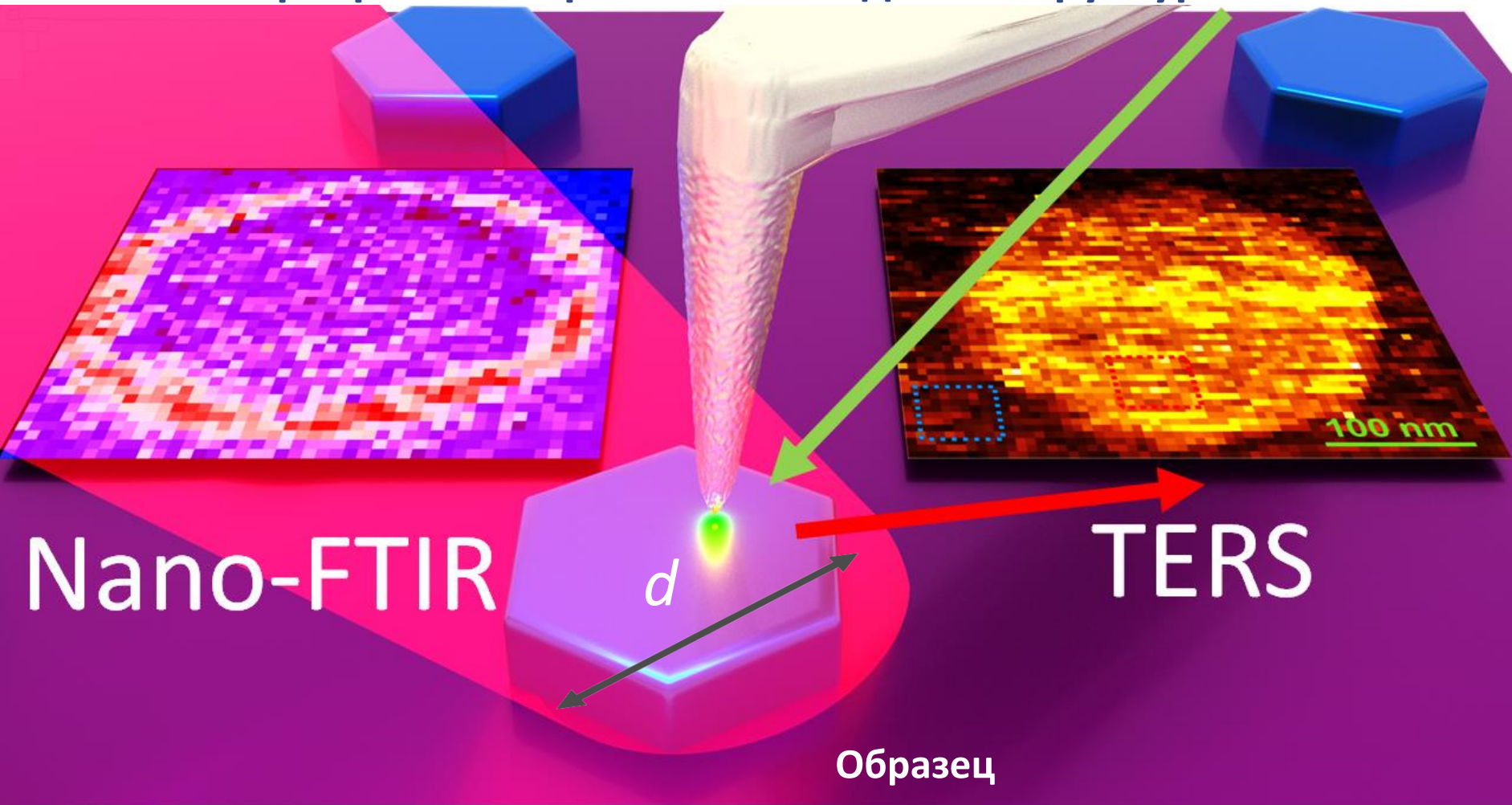
е



Установлены условия усиления и гашения nano-ФЛ в зависимости от расстояния иглы до поверхности

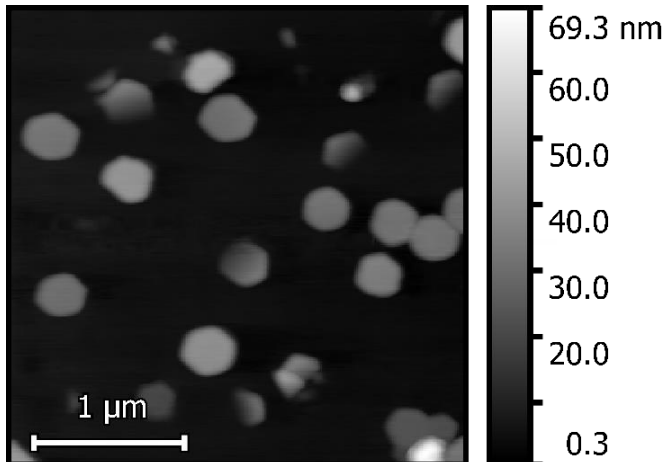


Картирование фононных мод наноструктур AlN

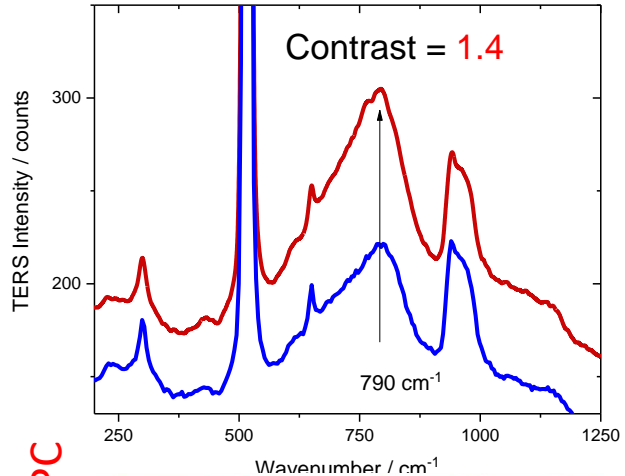
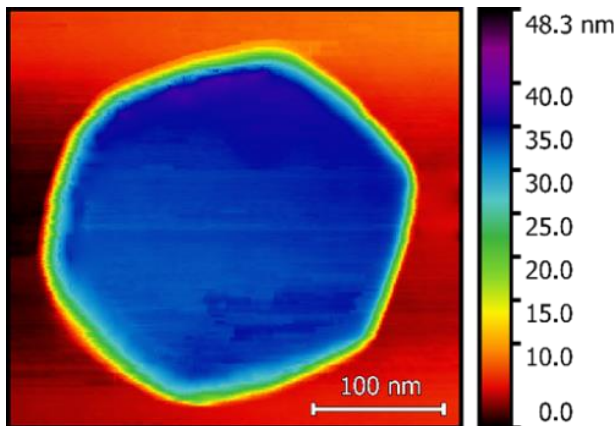


Нано-КРС-картирование гексагонального нанокластера AlN

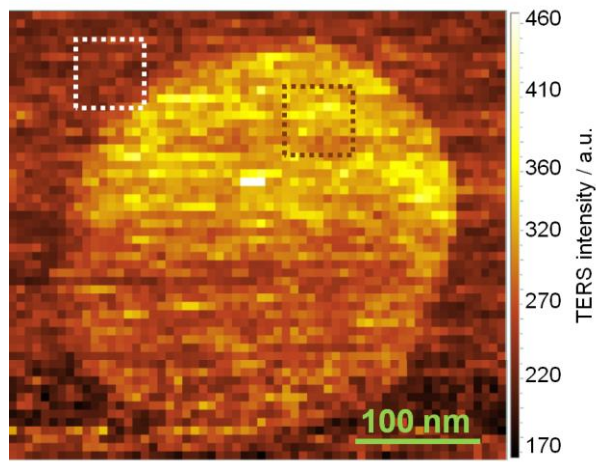
АСМ-изображение



АСМ-изображение



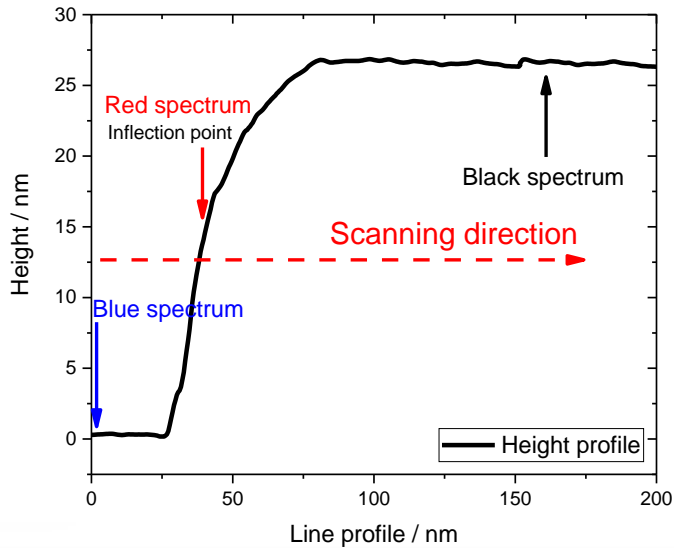
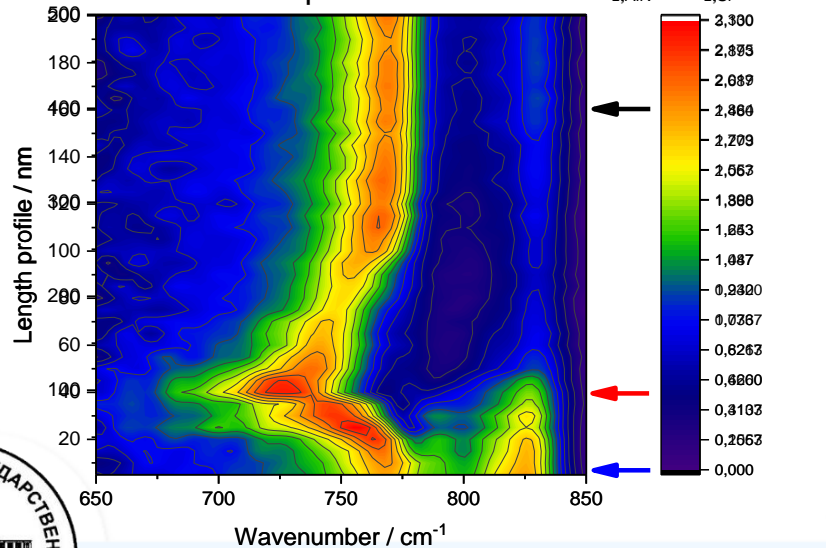
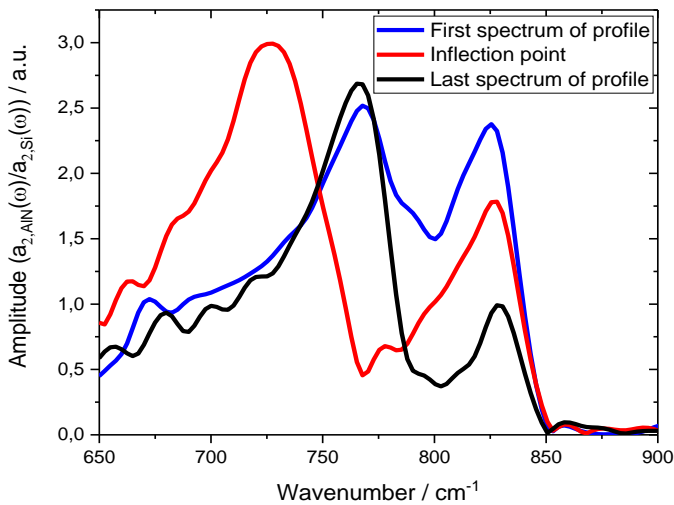
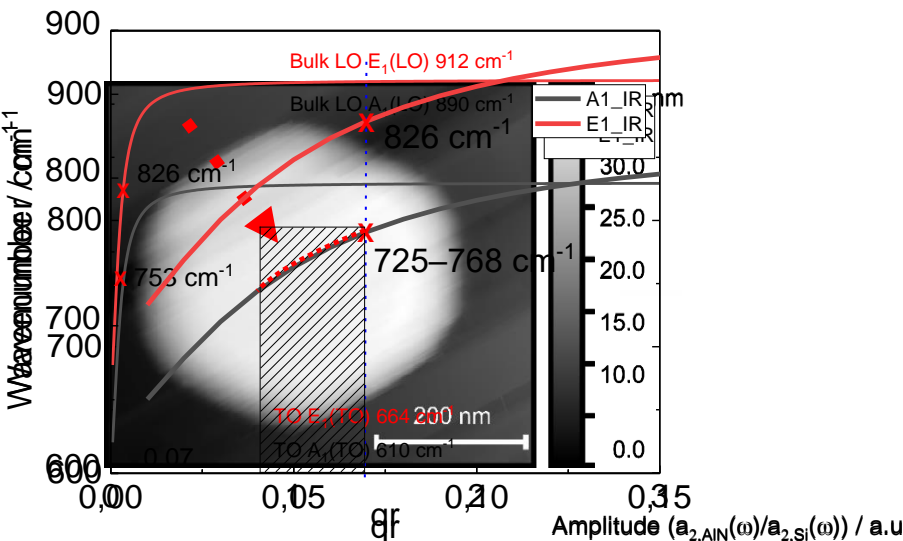
Изображение нано-КРС



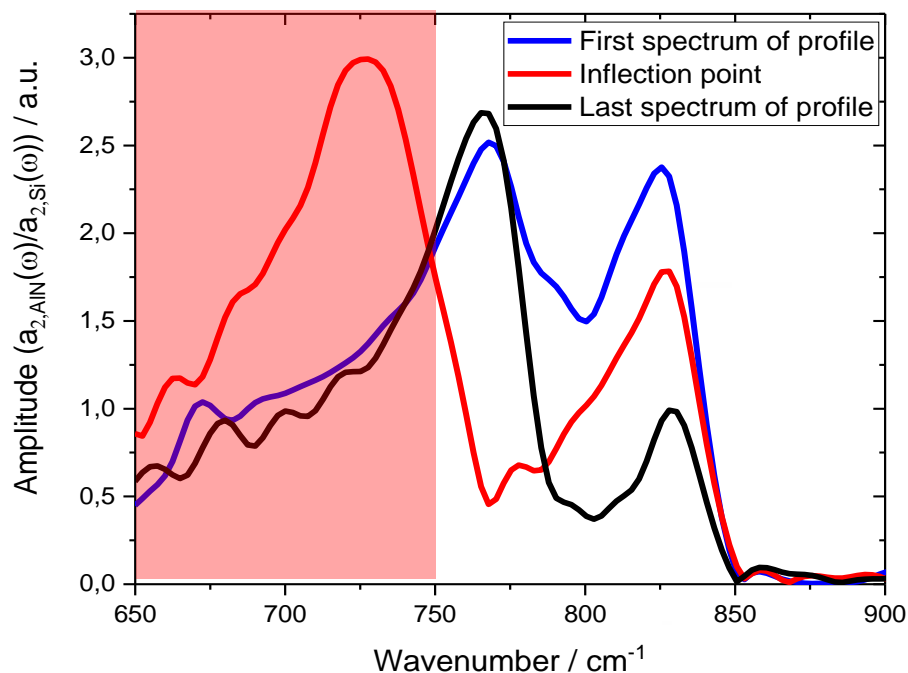
Метода нано-КРС позволяет обнаружить SO моды AlN и определить их пространственную локализацию



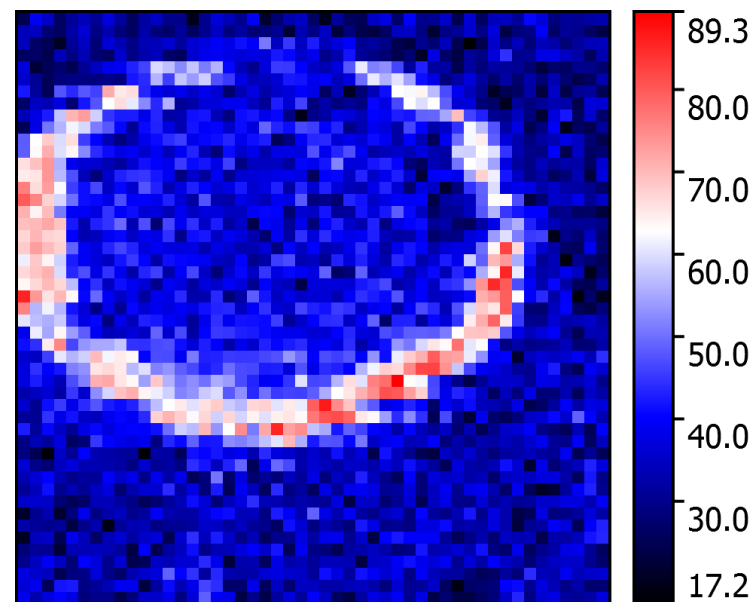
Нано-ИК картирование одиночного нанокластера AlN



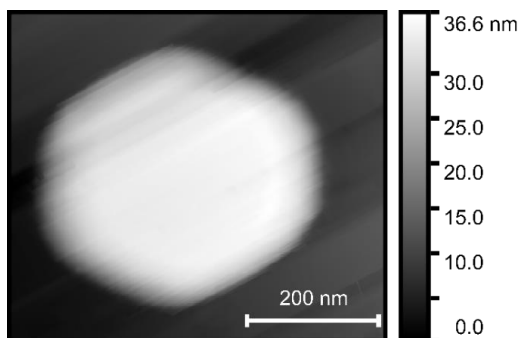
Нано-ИК картирование одиночного нанокластера AlN



Амплитудная нано-ИК карта моды



650-750 cm^{-1}



АСМ изображение

Нано-ИК спектроскопия позволяет исследовать пространственную локализацию и угловую дисперсию поверхностных оптических фононов AlN на наномасштабе

Выводы

- Нано-ИК-спектроскопия была успешно применена для определения состава оксида X в нанопроволоке SiO_x в нанометровом масштабе. Установлено, что X изменяется от 1,6 до 1,4 поперек нанопроволоки SiO_x .
- Нано-ФЛ с пространственным разрешением <10 нм показывает, что темная экситонная эмиссия возникает из областей монослоя WSe_2 , покрытых наночастицами PDMS на подложках Au или Ag при комнатной температуре
- Варьируя расстояние зонд-образец в субнанометровом диапазоне, можно контролировать экситонные свойства монослоя MoS_2 методом нано-ФЛ
- Нано-КРС и нано-ИК-спектроскопия чувствительны к поверхностным оптическим фононам нанокластера AlN , что позволило исследовать пространственную локализацию и угловую дисперсию поверхностных оптических фононов AlN на наномасштабе

Опубликованные статьи

1. M. Ferrera, M. Rahaman, S. Sanders, Y. Pan, **I. Milekhin**, S. Gemming, A. Alabastri, F. Bisio, M. Canepa, D. R. T. Zahn, Applied Physics Reviews 9, 031401, 2022, DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0078068>, IF= 19.527, Q1
2. C. Wöpke, C. Göhler, M. Saladina, X. Du, L. Nian, C. Greve, C. Zhu, K. M. Yallum, Y. J. Hofstetter, D. B.-Koch, N. Li, T. Heumüller, **I. Milekhin**, D. R. T. Zahn, C. J. Brabec, N. Banerji, Y. Vaynzof, E. M. Herzig, R. C. I. MacKenzie, C. Deibel, Nature Communications volume 13, Article number: 3786, 2022, DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31326-z>, IF= 17.694, Q1
3. M. Rahaman, O. Selyshchev, Y. Pan, R. Schwartz, **I. Milekhin**, A. Sharma, G. Salvan, S. Gemming, T. Korn, D.R.T. Zahn, Advanced Optical Materials, 9, 24, 2101801, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1002/adom.202101801>, IF= 10.05, Q1
4. **I.A. Milekhin**, A.S. Kozhukhov, D.V. Sheglov, L.I. Fedina, A.G. Milekhin, A.V. Latyshev, D.R.T. Zahn, Applied Surface Science, 584, 152583,2022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.152583>, IF= 7.392, Q1
5. **I. Milekhin**, K. Anikin, N. N. Kurus, V. G. Mansurov, T. V. Malin, K. S. Zhuravlev, A. G. Milekhin, A. V. Latyshev and D. R. T. Zahn, Nanoscale Adv., 2023, 5, 2820-2830, DOI: <https://doi.org/10.1039/D3NA00054K>, IF= 5.598, Q1

Google Scholar: Научные публикации: **34**; количество цитирований: **166**;
h-index: **8**; i10-index: **7**



Спасибо за внимание

