

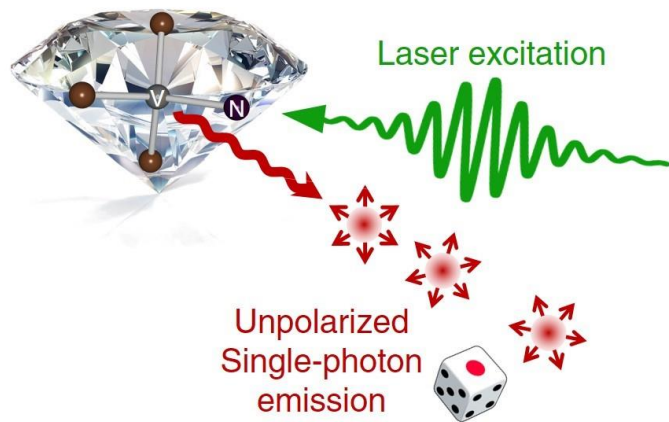
Ultra-bright and narrow-band emission from
Ag atomic sized nanoclusters
in a self-assembled plasmonic resonator

ИСАИ 2022

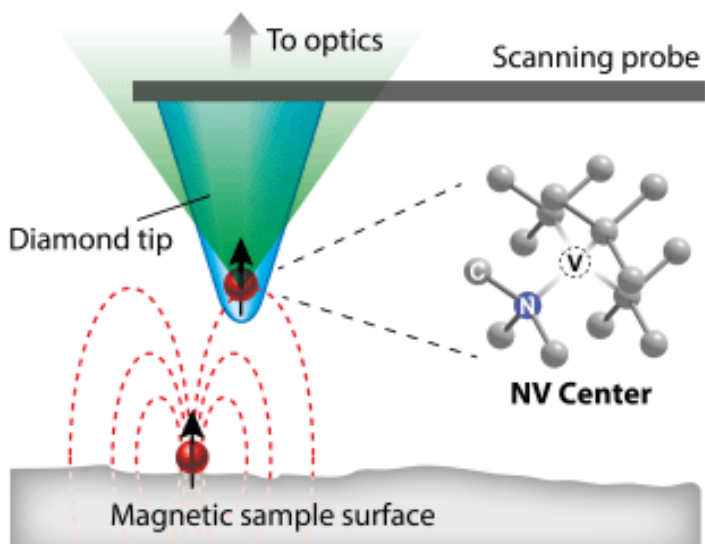
Зачем нужны нанолокализованные источники излучения

Квантовые технологии

- Однофотонные источники излучения

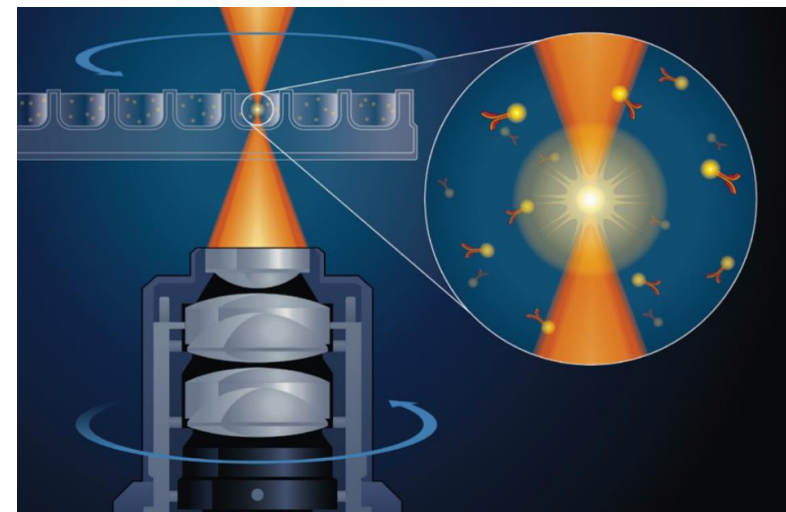


- Квантовые сенсоры

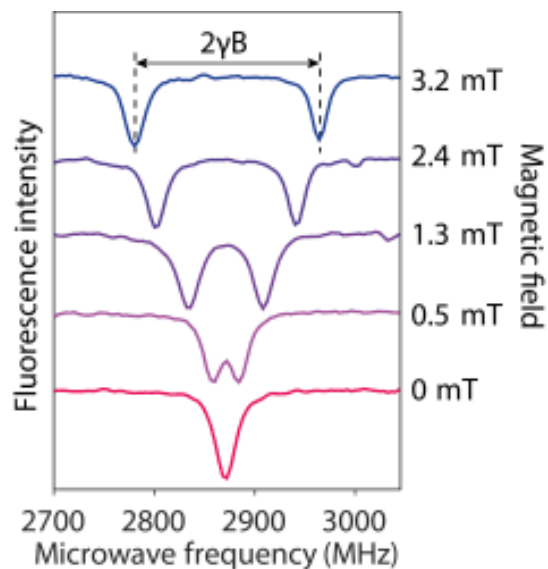
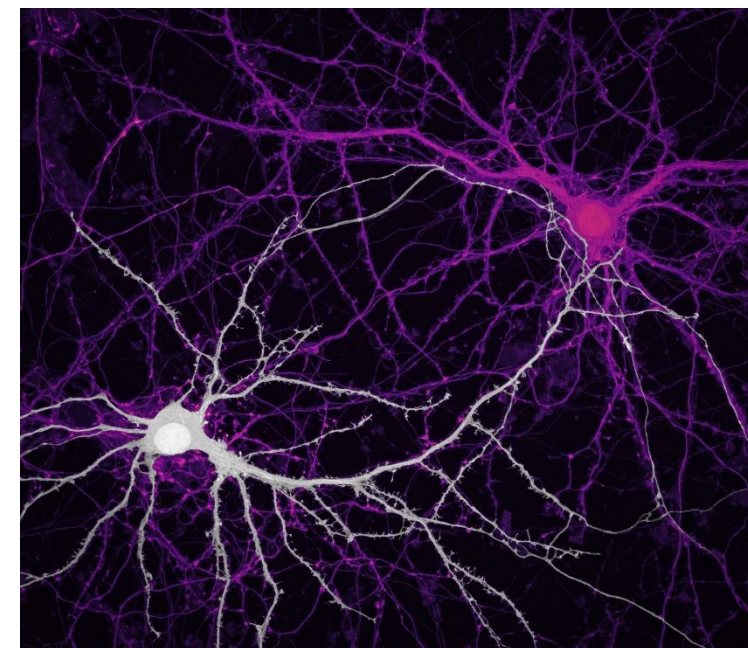


Биосенсорика

- Люминесцентные методы детектирования веществ



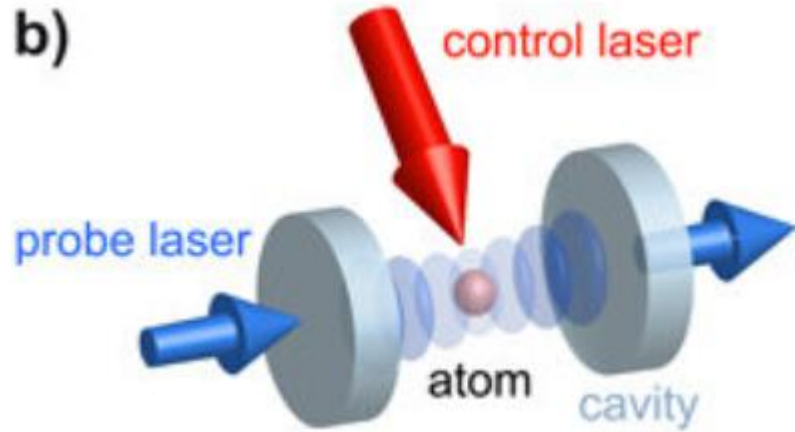
Биовизуализация



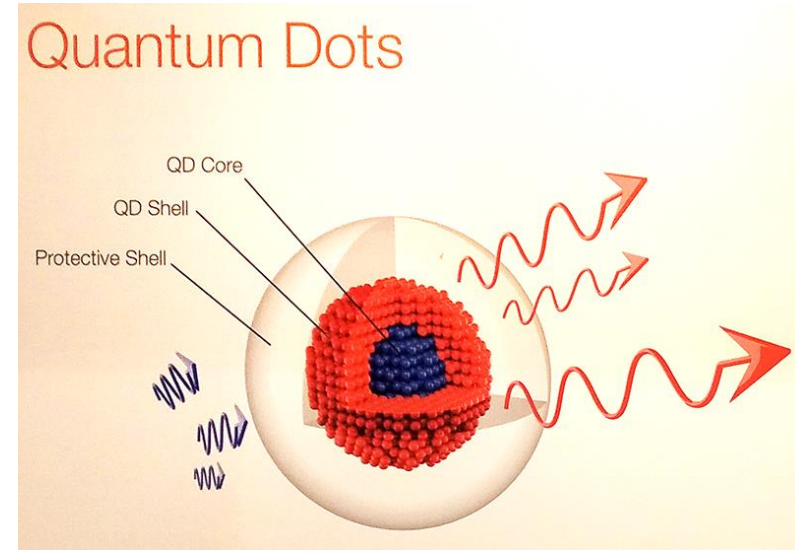
Нанолокализованные источники излучения

Квантовые точки

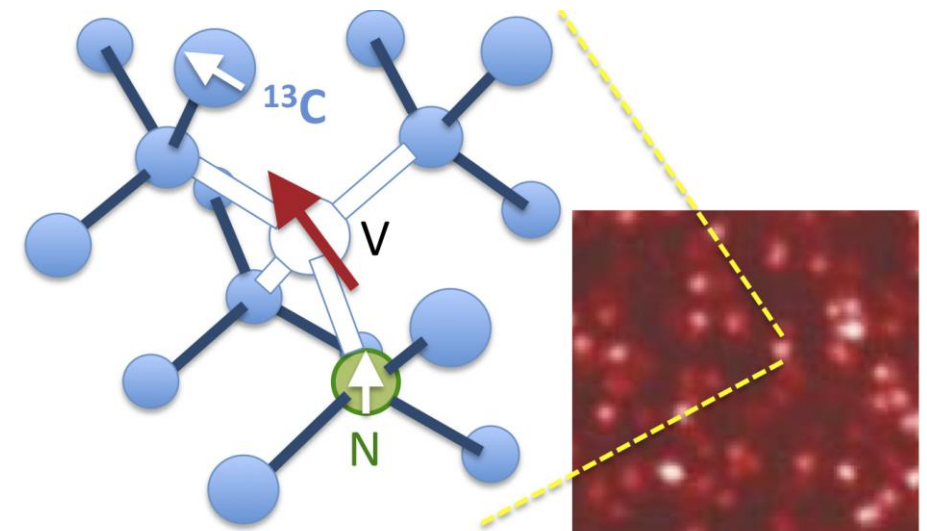
Единичные атомы и ионы



Молекулы красителя



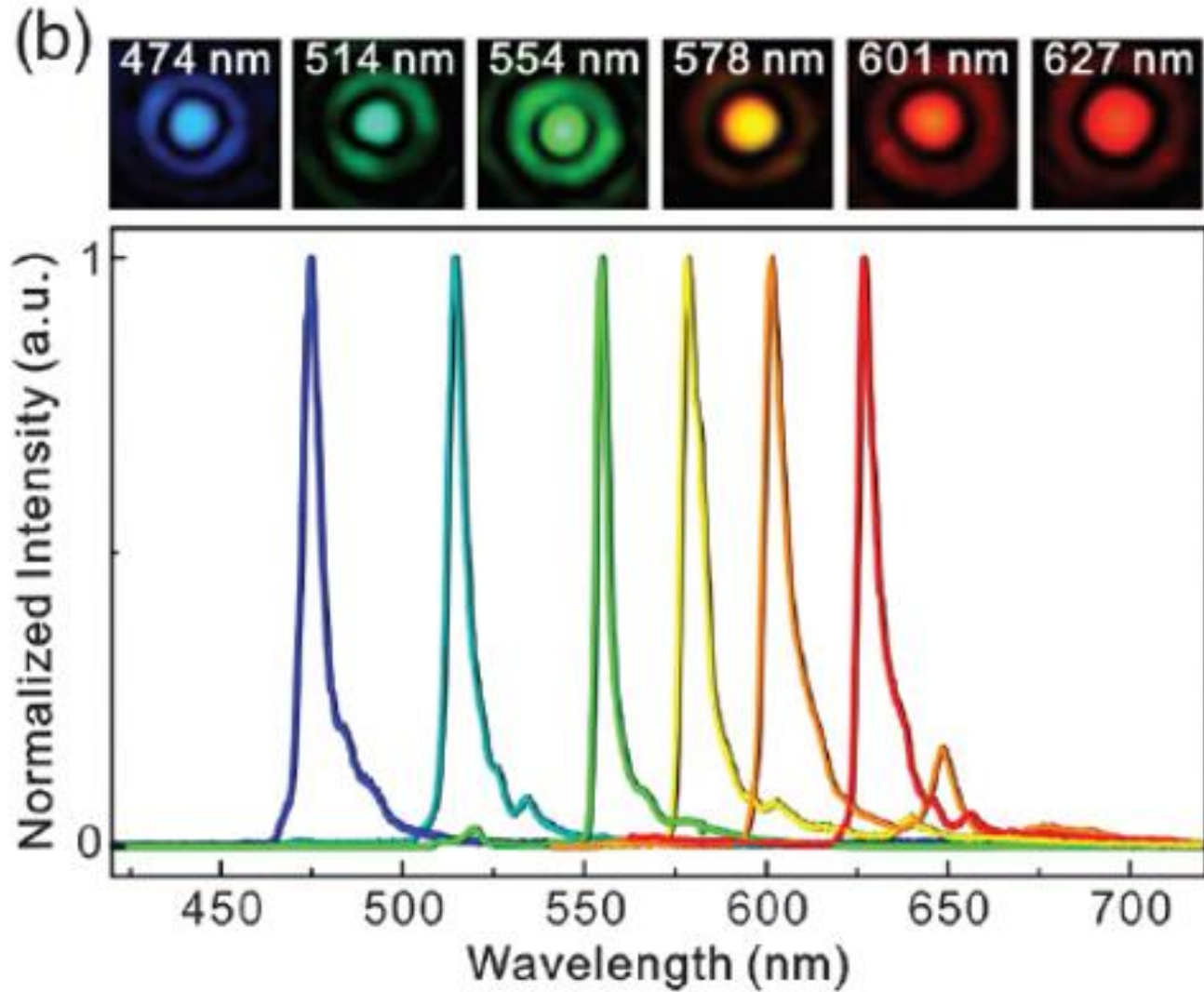
Дефекты в кристаллах



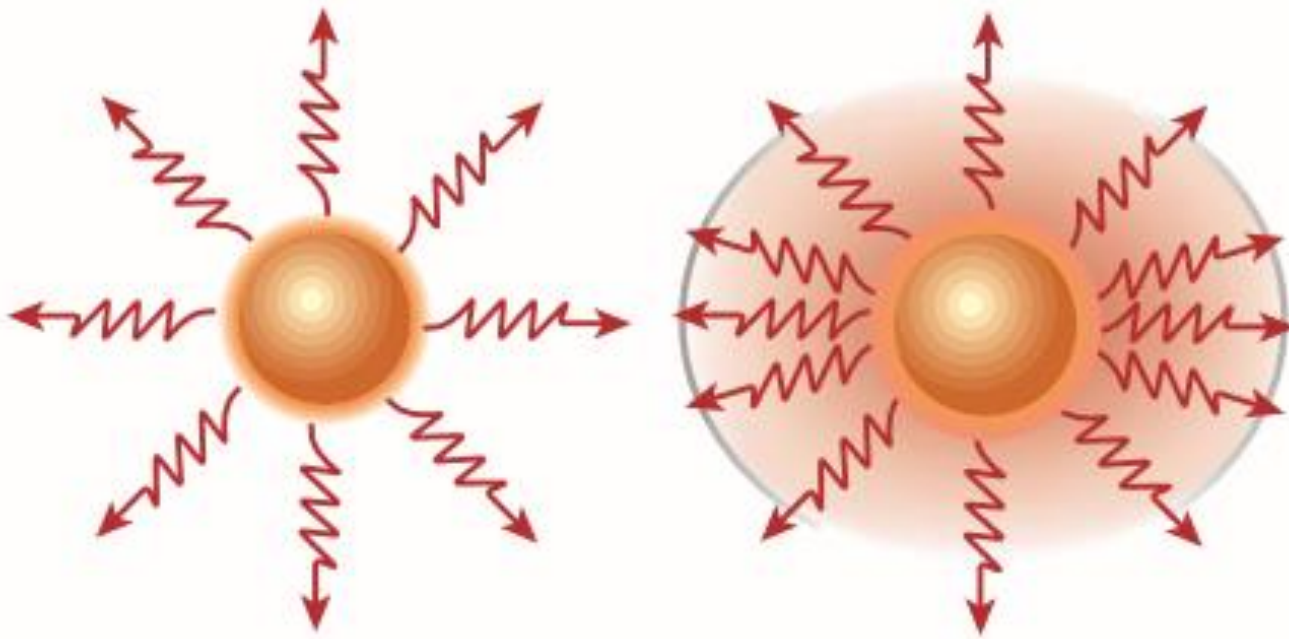
Сравнение источников излучения

Название	FWHM (nm)	$I_{sat} \left(\frac{W}{cm^2}\right)$	$\sigma_{rad} (cm^2)$	$\Phi_{max} = \frac{I_{sat} * \sigma_{rad}}{FWHM} (W/nm)$	Квантовый выход	Размер
Квантовые точки	~40	~ 10^3	~ 10^{-14}	~ $2,5 * 10^{-13}$	30-50%	~5 nm
Молекулы красителей	~40	~ 10^6	~ 10^{-16}	~ $2,5 * 10^{-12}$	20-100%	~10 Å
Дефекты в алмазе	~5 (ZPL, 300K) ~150 (PSB, 300K)	~ $10^4 - 10^5$	~ 10^{-16}	> $2 * 10^{-13}$	1-10%	~5 nm – 100 nm
Единичные атомы	~6 MHz	~ 10^{-3}	~ 10^{-8}	~ 10^{-5}	100%	~2 Å

Почему важна спектральная яркость



Усиление спонтанного излучения



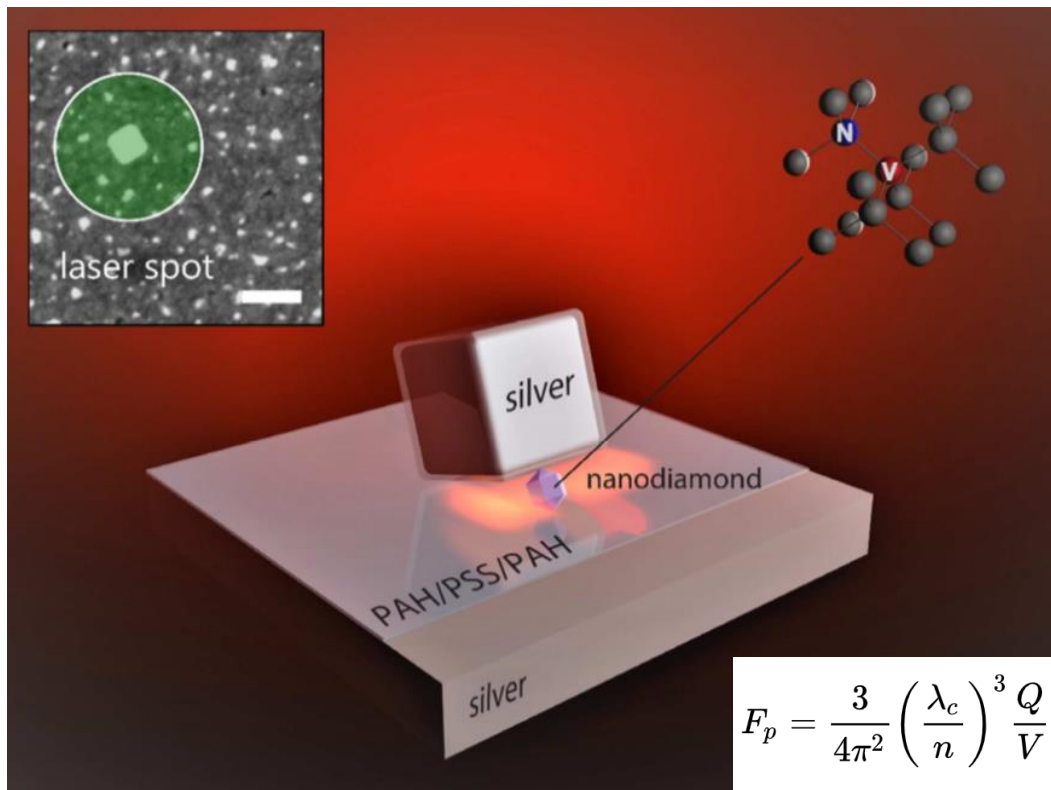
Золотое правило Ферми

$$W_{i \rightarrow f} = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle f | H' | i \rangle|^2 \rho$$

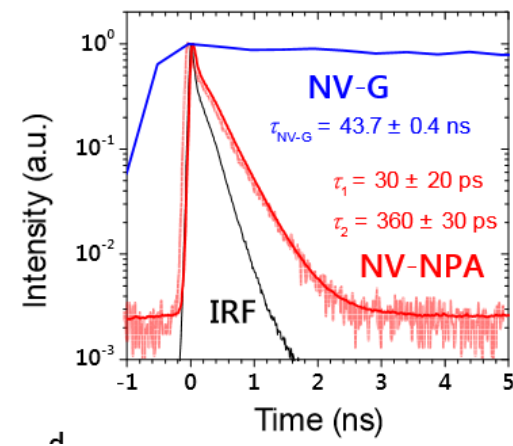
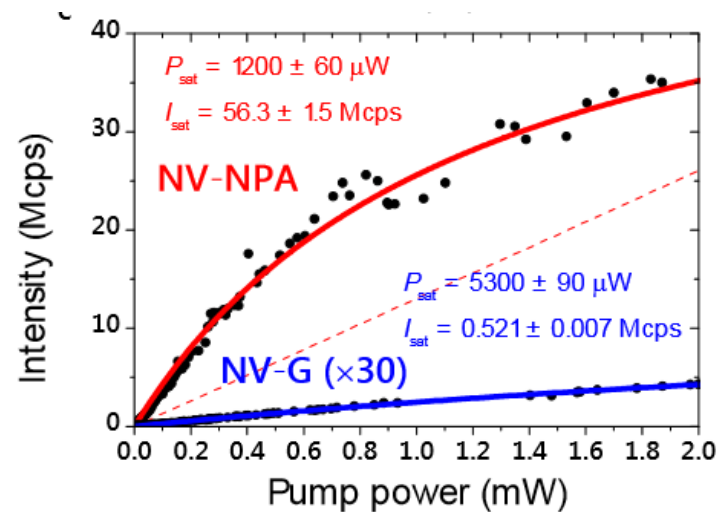
Эффект Парселла

$$F_p = \frac{3}{4\pi^2} \left(\frac{\lambda_c}{n} \right)^3 \frac{Q}{V}$$

Усиление спонтанного излучения



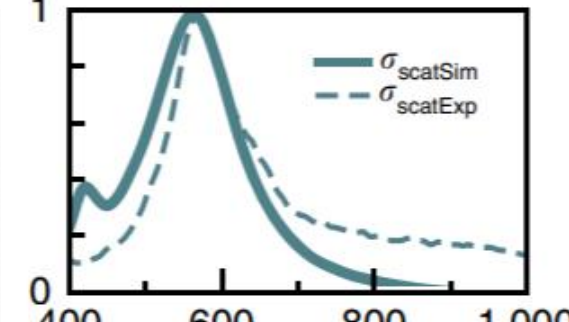
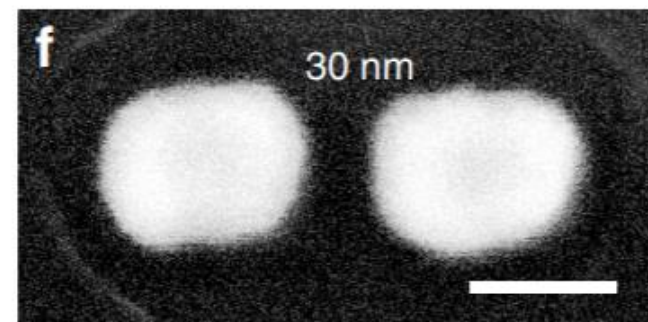
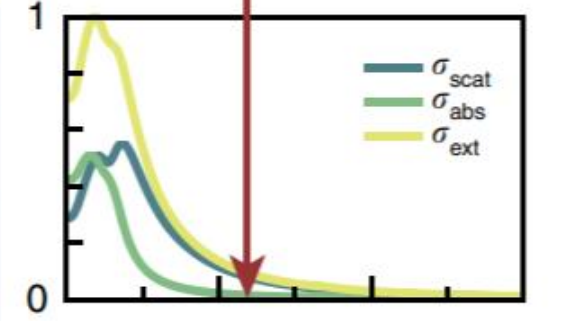
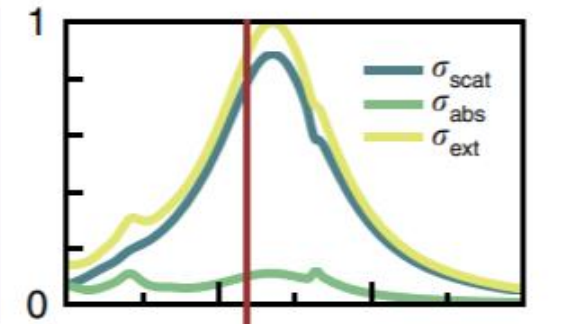
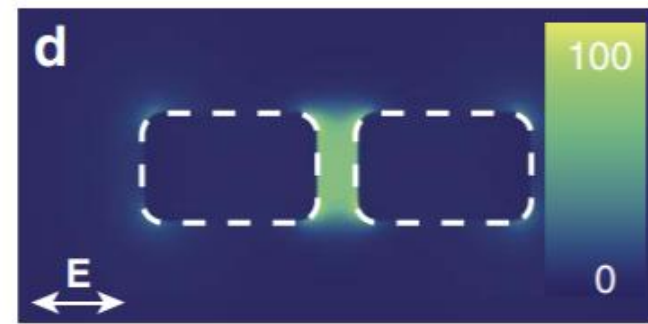
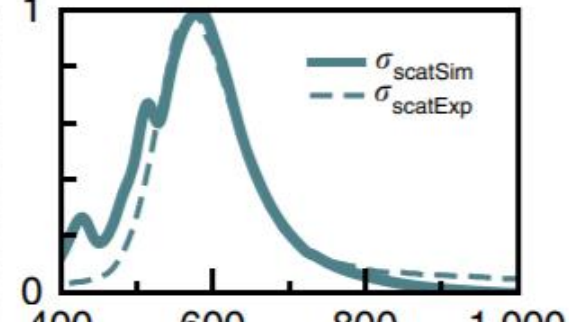
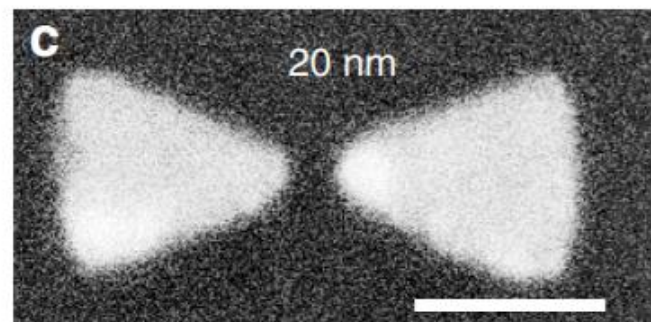
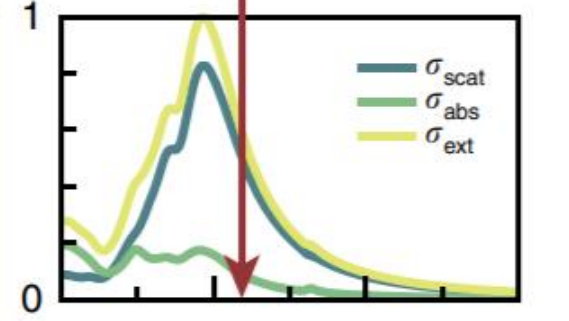
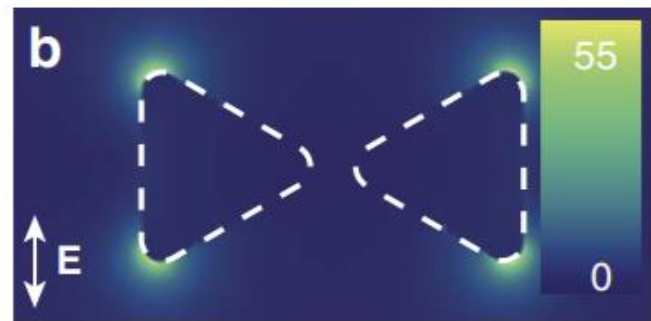
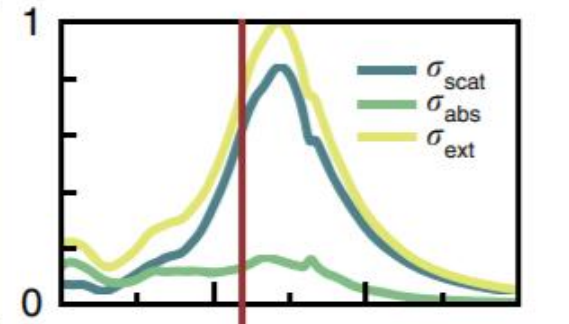
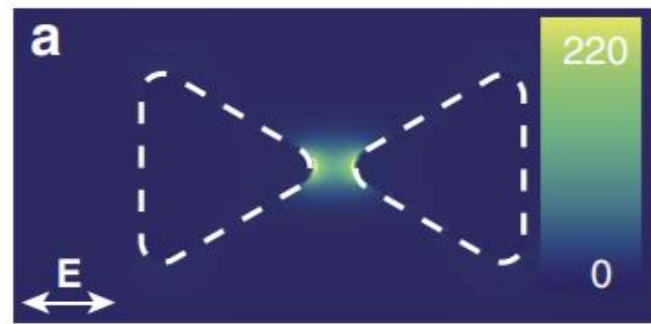
$$\frac{\Gamma}{\Gamma_0} \approx 100$$



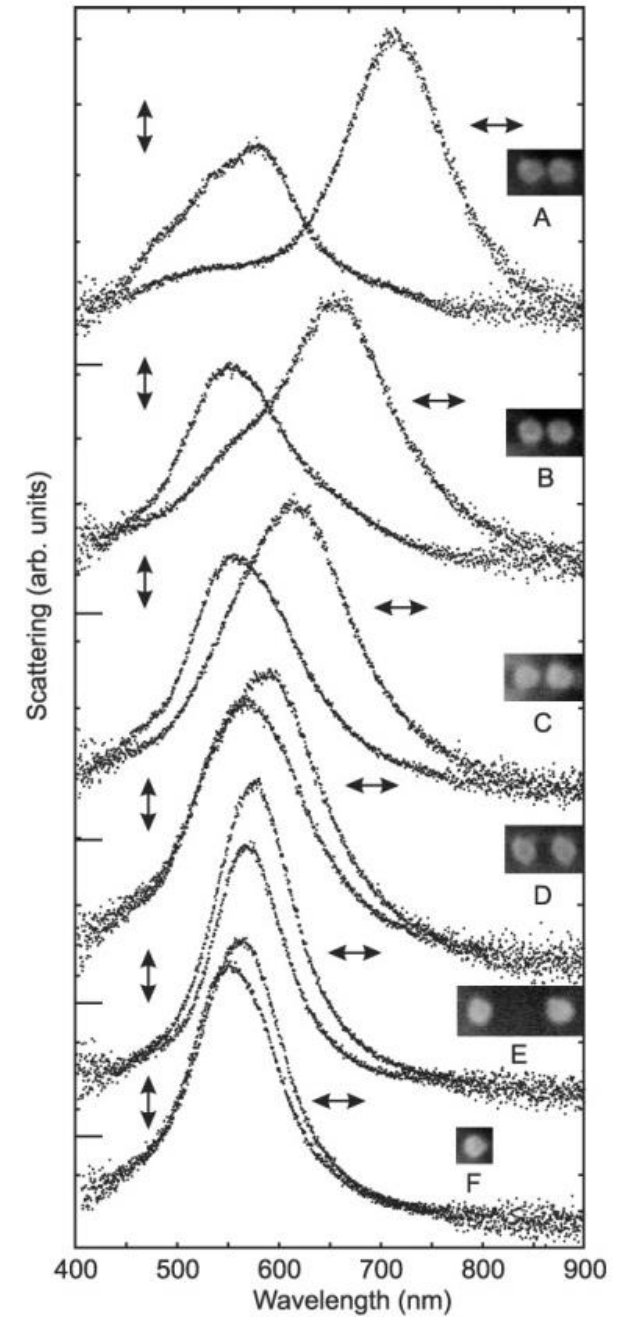
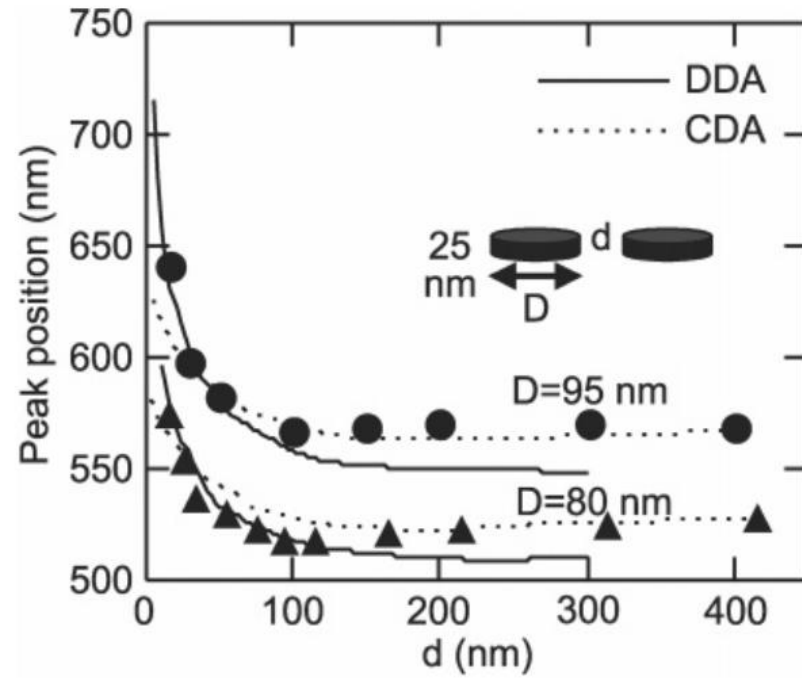
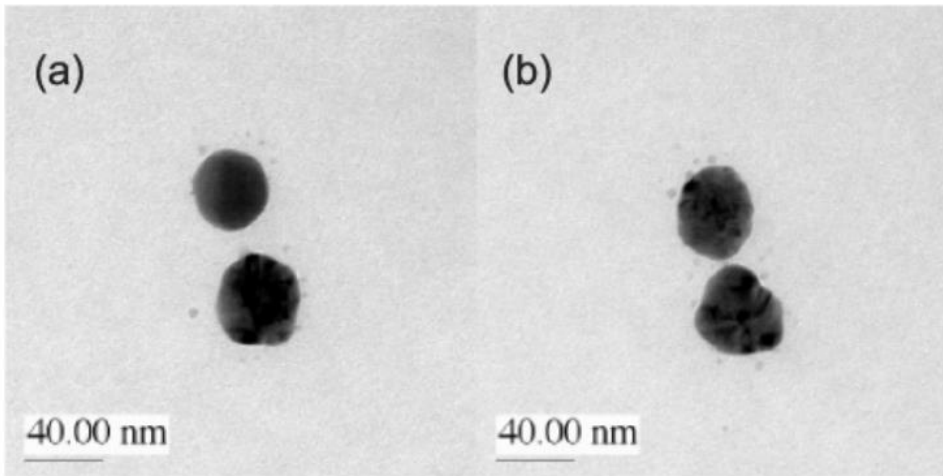
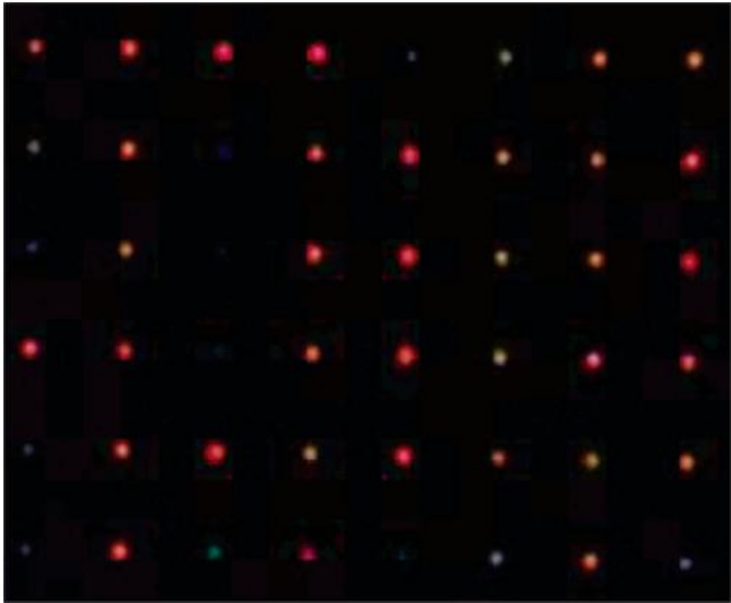
Ultrabright room-temperature sub-nanosecond emission from single nitrogen-vacancy centers coupled to nano-patch antennas

Simeon Bogdanov, Mikhail Y. Shalaginov, Alexei Lagutchev, Chin-Cheng Chiang, Deesha Shah, Aleksandr Baburin, Ilya Ryzhikov, Ilya Rodionov, Alexander V. Kildishev, Alexandra Boltasseva, and Vladimir M. Shalaev

Gap-plasmon резонанс



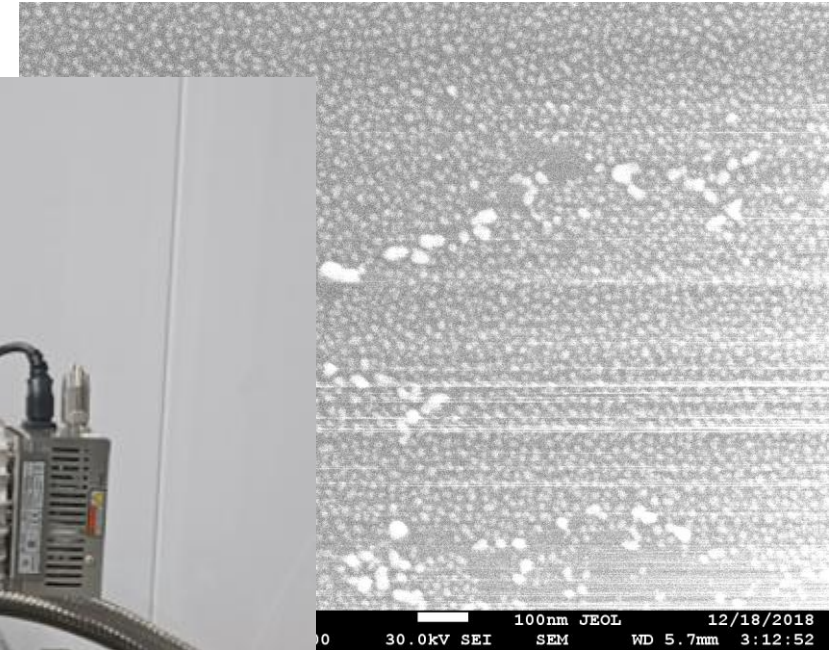
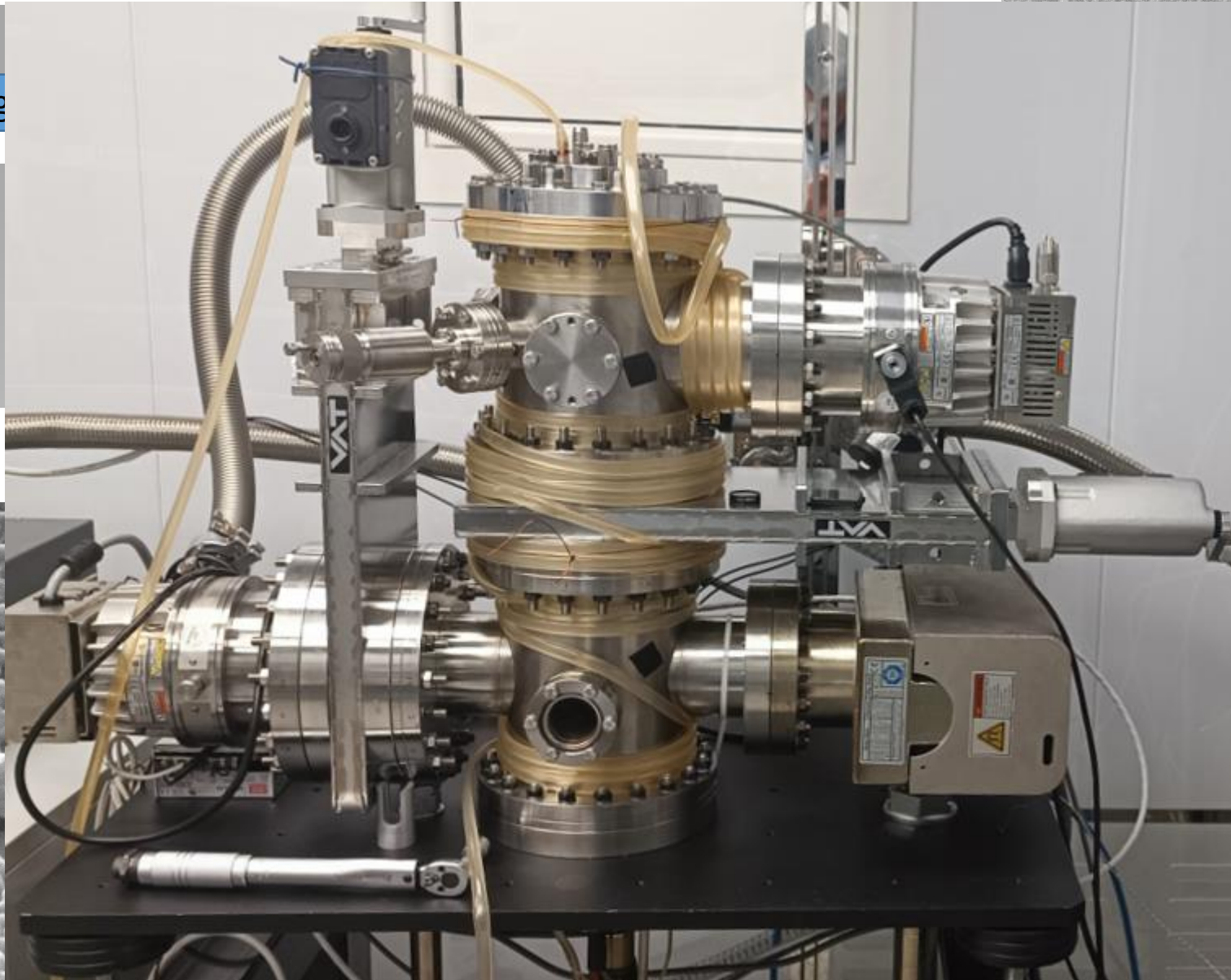
Gap-plasmon резонанс



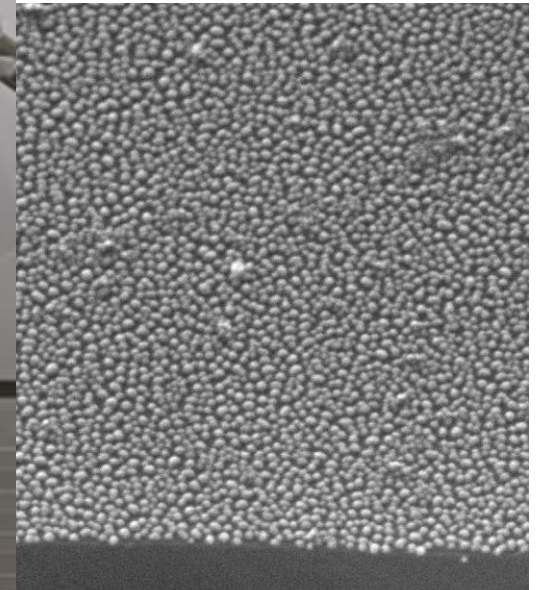
Поверхность с нанорезонаторами

Ag film

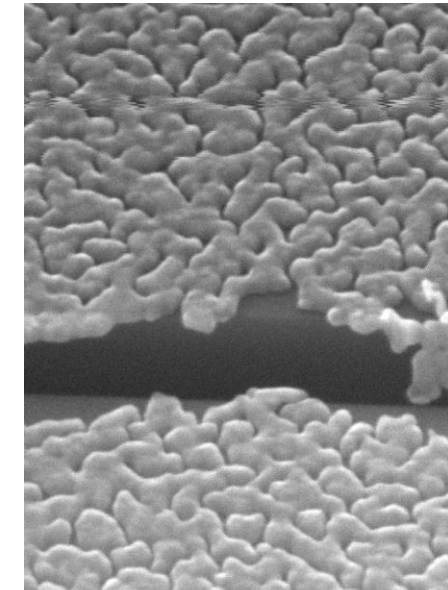
Cover g



100nm JEOL 12/18/2018
30.0kV SEI SEM WD 5.7mm 3:12:52



100nm JEOL 12/21/2018
X 100,000 30.0kV SEI SEM WD 6.3mm 11:36:48

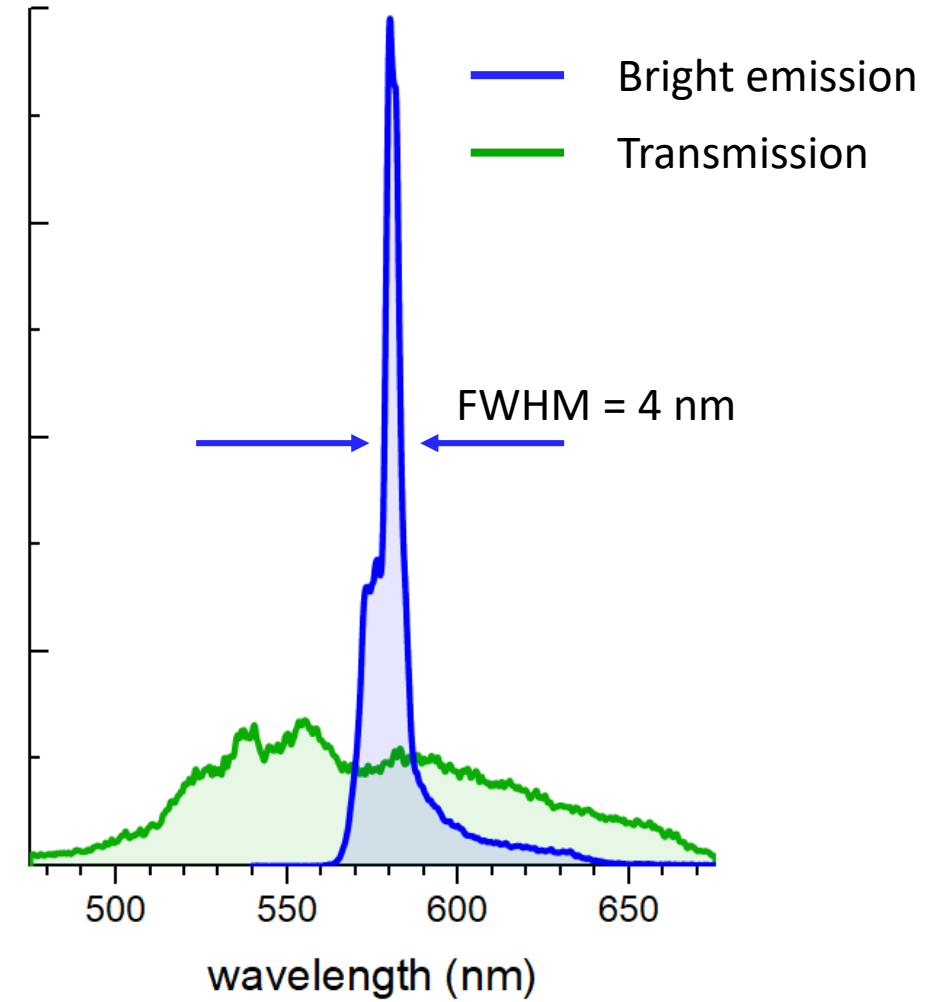


100nm JEOL 12/21/2018
X 100,000 30.0kV SEI SEM WD 6.3mm 11:40:04

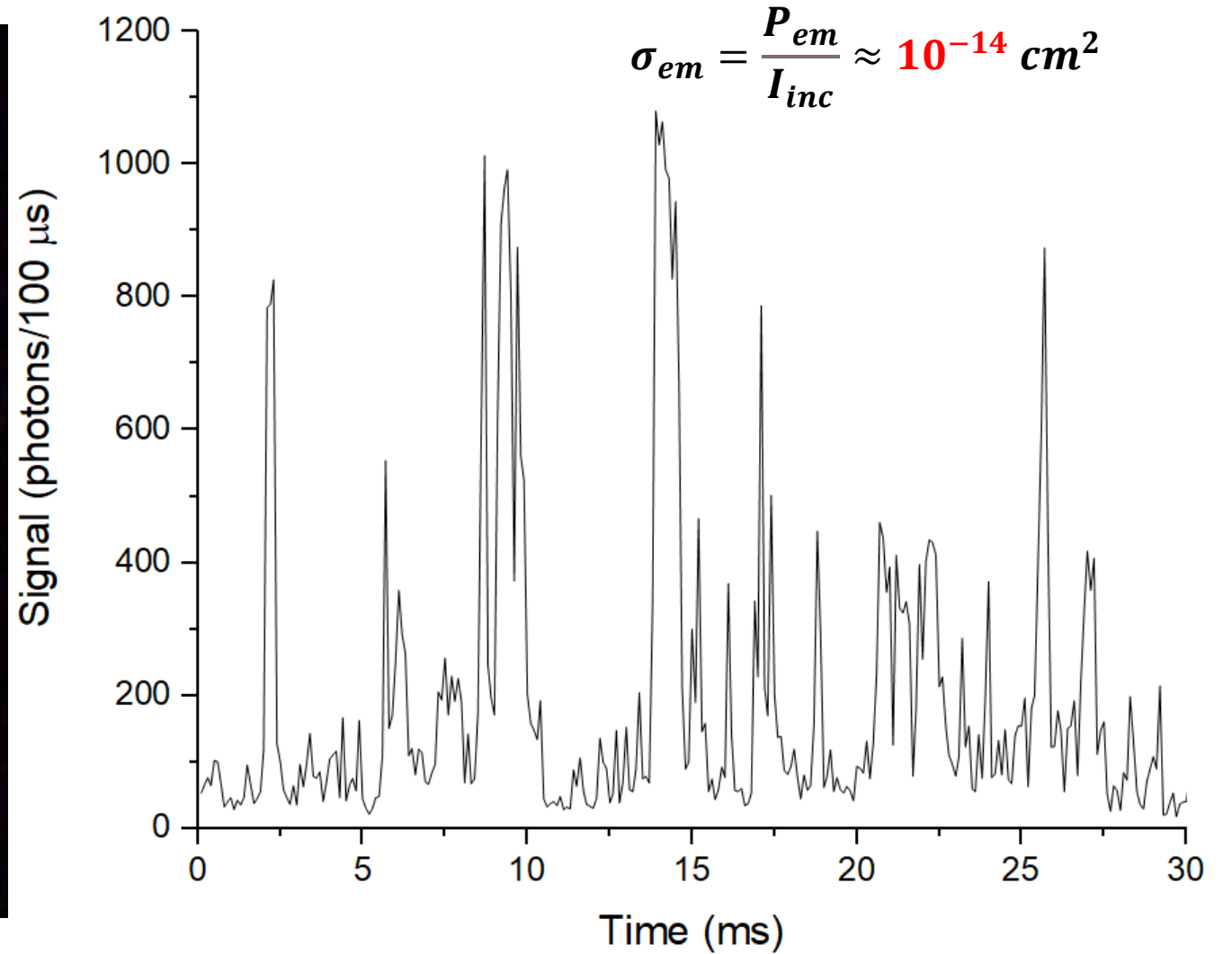
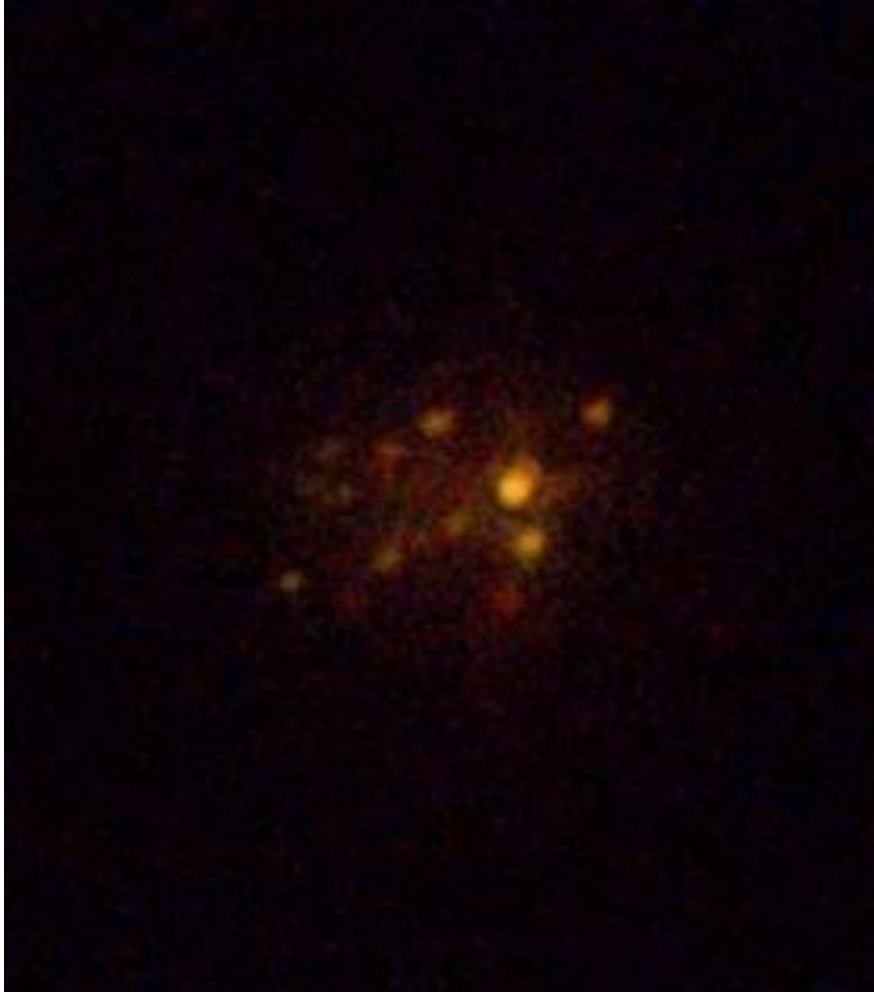


100nm JEOL 12/21/2018
X 100,000 30.0kV SEI SEM WD 6.3mm 11:41:04

Ультраяркий источник излучения на пленке Ag



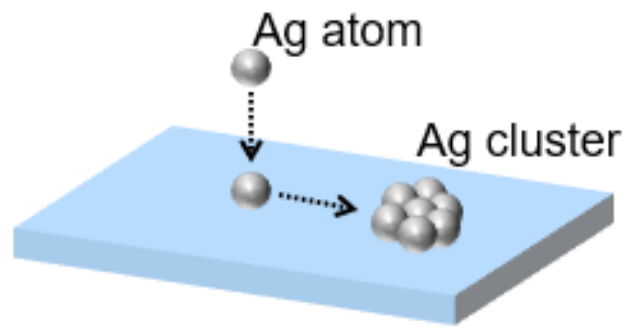
Ультраяркий источник излучения на пленке Ag



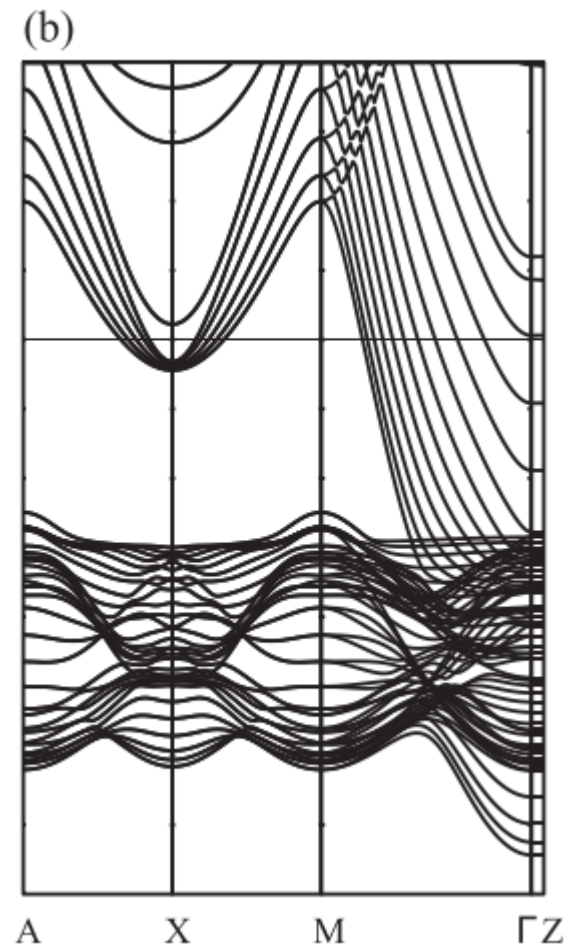
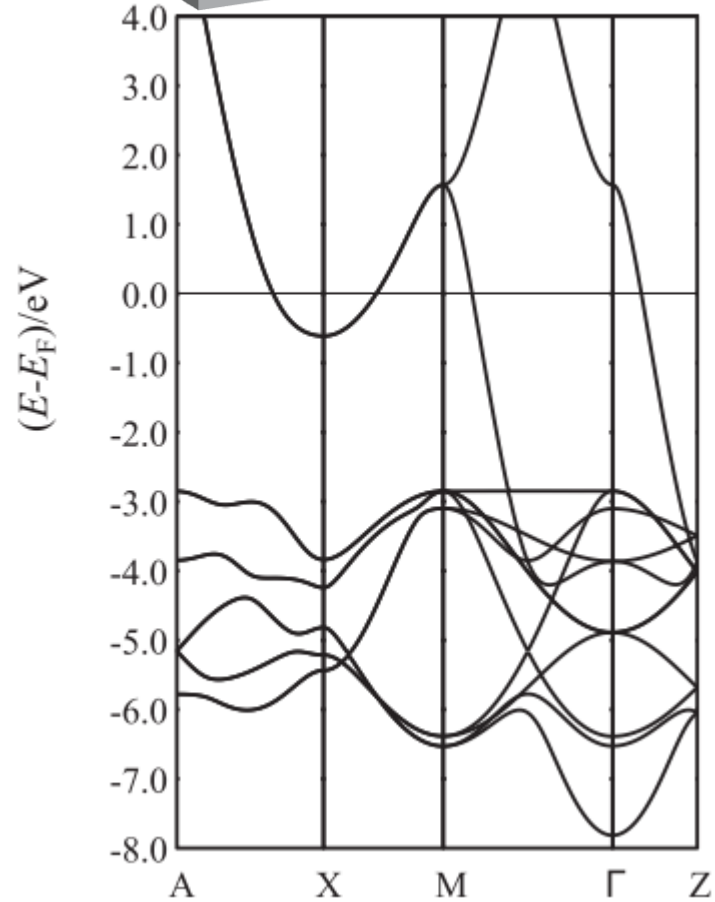
Сравнение источников излучения

Название	FWHM (nm)	$I_{sat} \left(\frac{W}{cm^2}\right)$	$\sigma_{rad} (cm^2)$	$\Phi_{max} = \frac{I_{sat} * \sigma_{rad}}{FWHM} (W/nm)$	Квантовый выход	Размер
Наша работа	~4	$\sim 10^5$	$\sim 10^{-14}$	$> 10^{-10}$?	$< 5 nm$
SPASER	~5	$\sim 10^4 - 10^7$	$\sim 10^{-14}$	$> 10^{-10}$?	$\sim 100 nm$
Квантовые точки	~40	$\sim 10^3$	$\sim 10^{-14}$	$\sim 2,5 * 10^{-13}$	30-50%	$\sim 5 nm$
Молекулы красителей	~40	$\sim 10^6$	$\sim 10^{-16}$	$\sim 2,5 * 10^{-12}$	20-100%	$\sim 10 \text{ \AA}$
Дефекты в алмазе	~5 (ZPL, 300K)	$\sim 10^4 - 10^5$	$\sim 10^{-16}$	$> 2 * 10^{-13}$	1-10%	$\sim 5 nm - 100 nm$

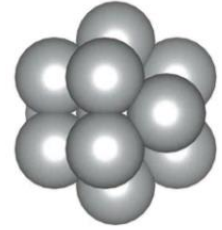
Гипотеза



Флуоресценция серебряных нанокластеров



Cluster



Флуоресценция серебряных нанокластеров

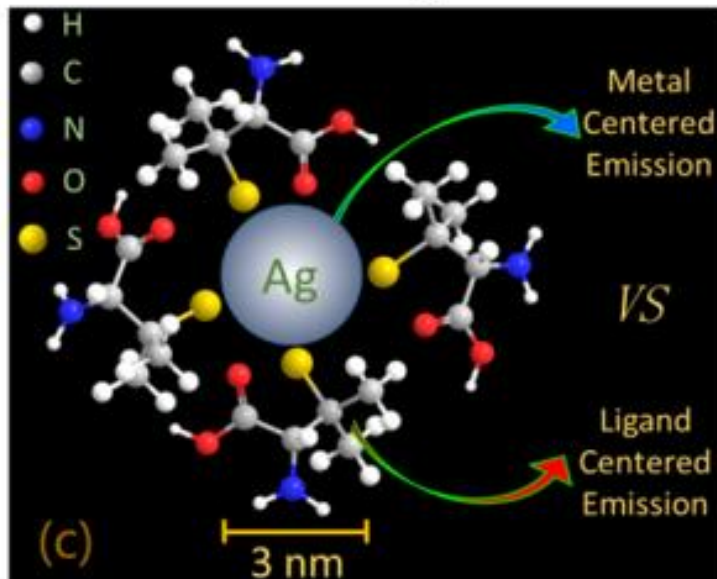
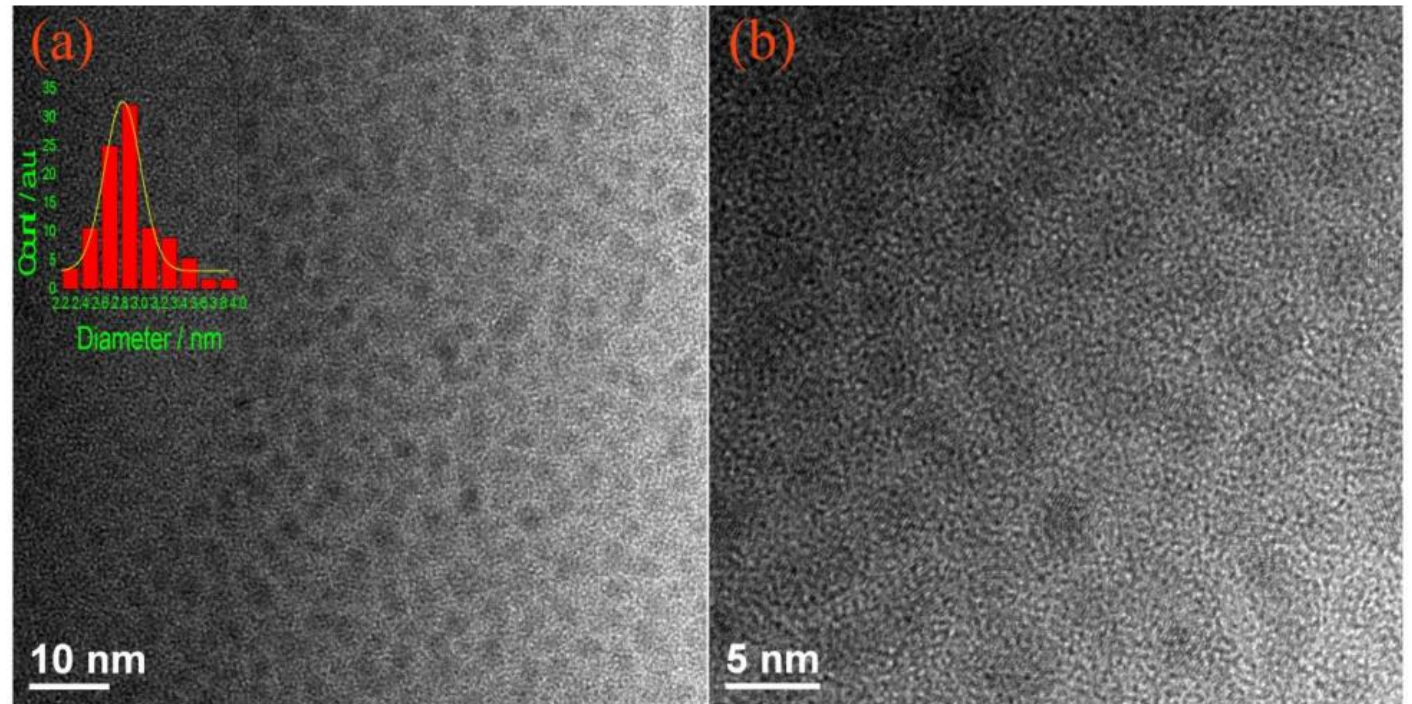
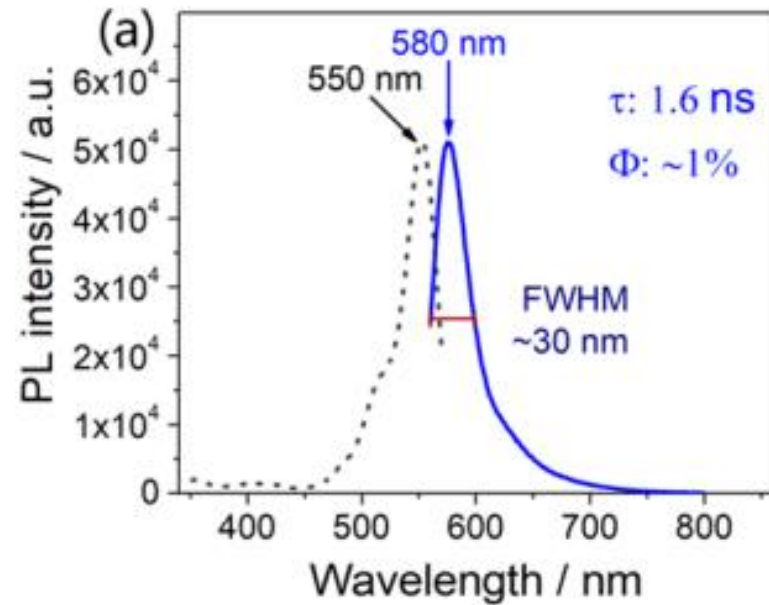


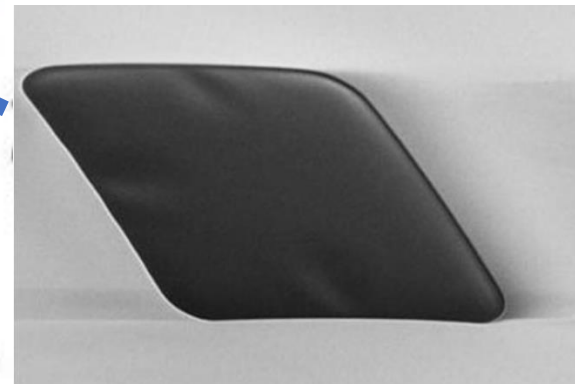
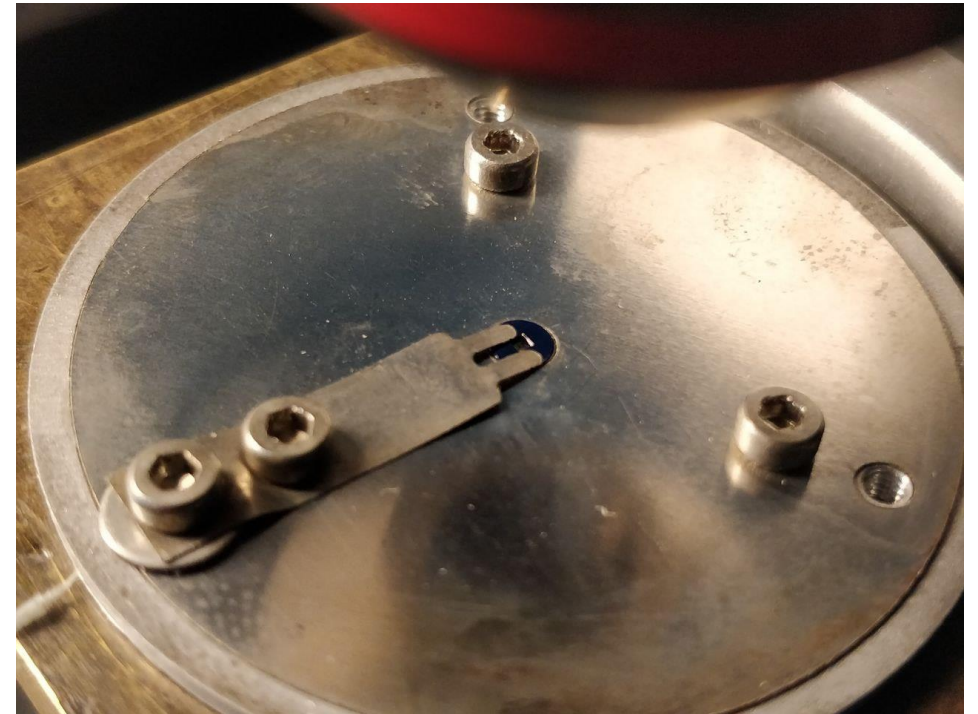
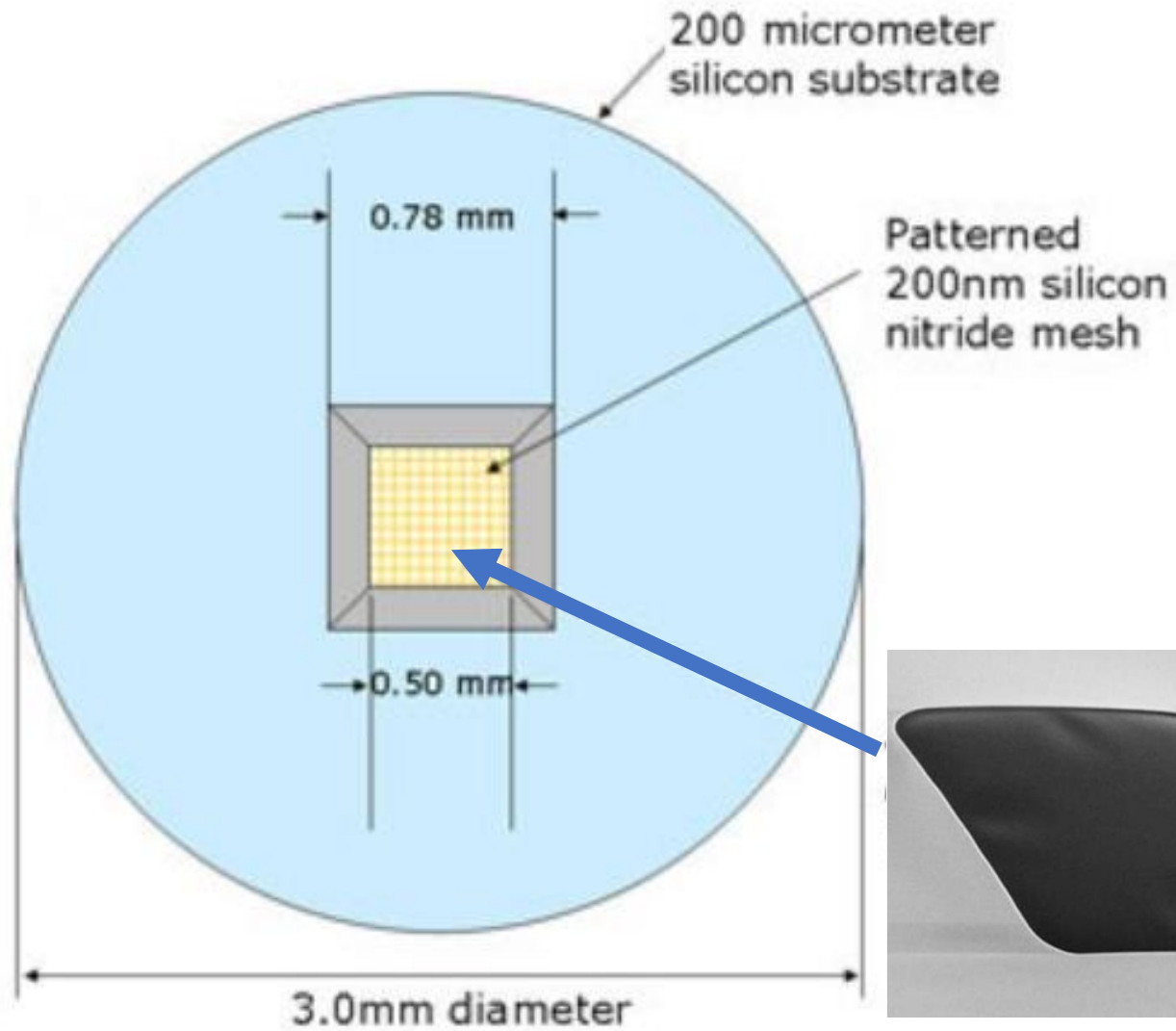
Figure S3. High-resolution TEM image of as-synthesized DPA-AgNCs (histogram describes the statistical distribution of the particle size, which is $\sim 3.0 \text{ nm}$).

$$E_{\text{emission}} = \frac{E_{\text{Fermi}}(\text{Ag})}{N^{\frac{1}{3}}}$$

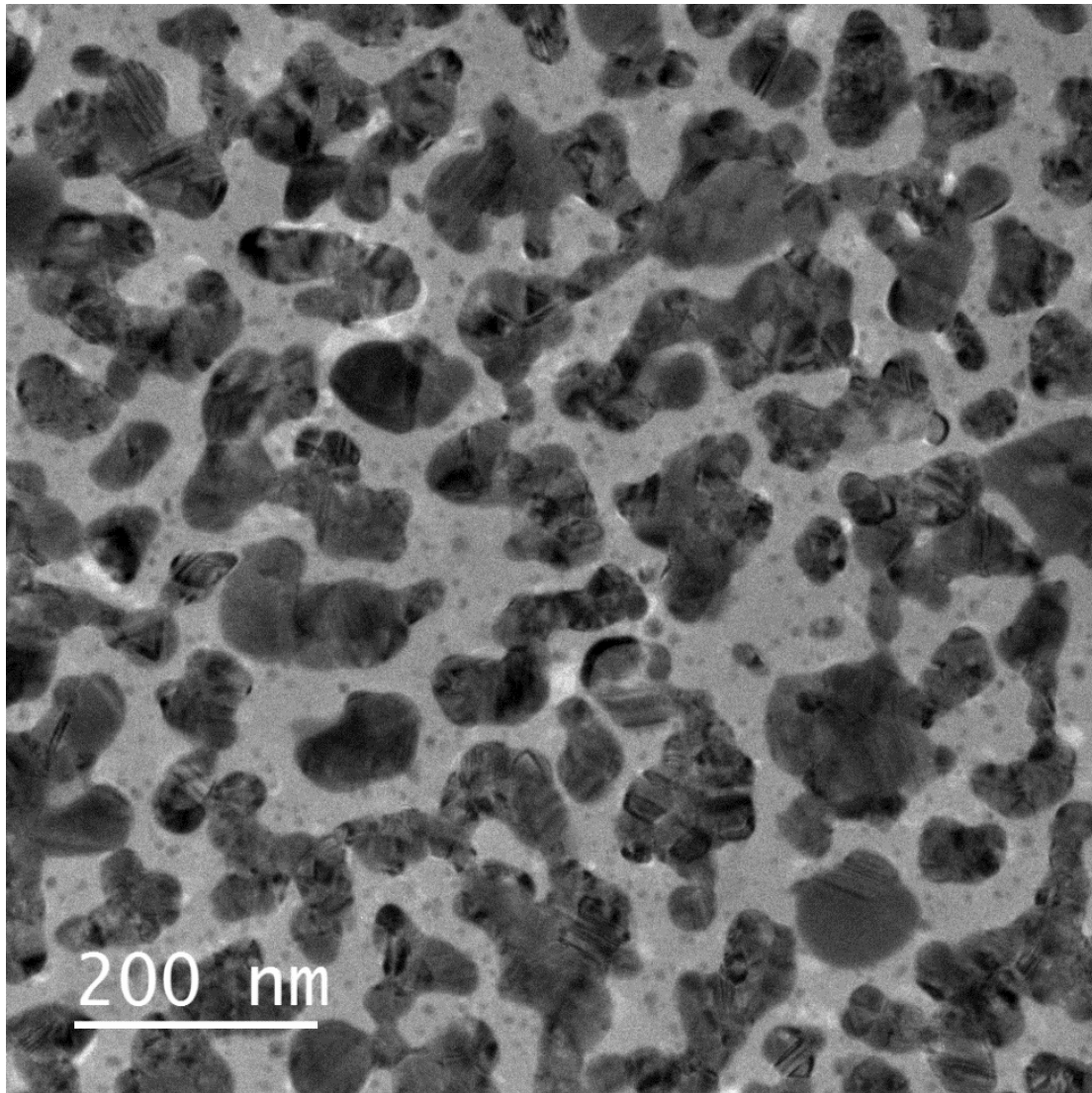
$$E_{\text{Fermi}}(\text{Ag}) = 5,5 \text{ eV}$$

$$N_{\lambda=580 \text{ nm}} = 17$$

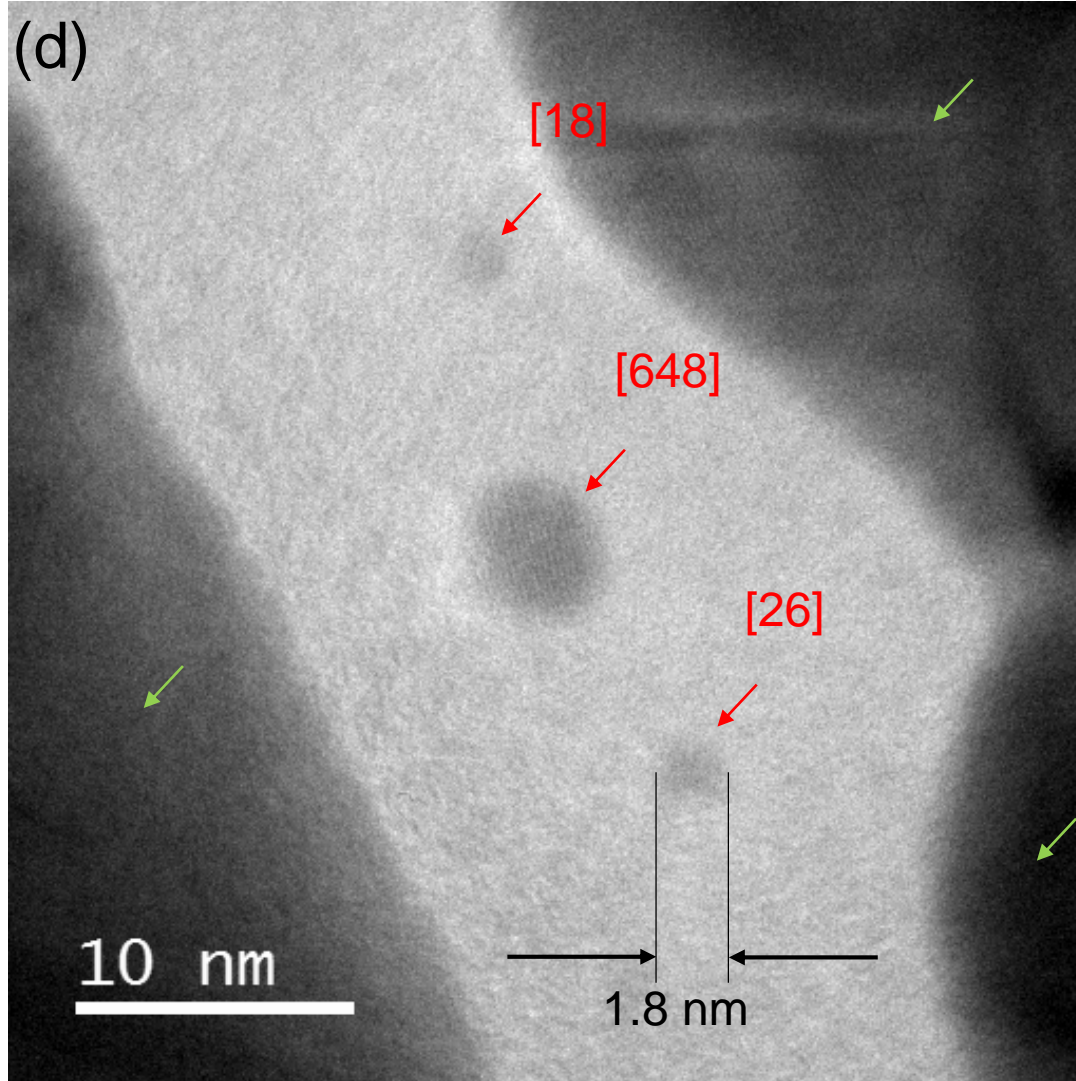
Экспериментальный образец для ТЕМ



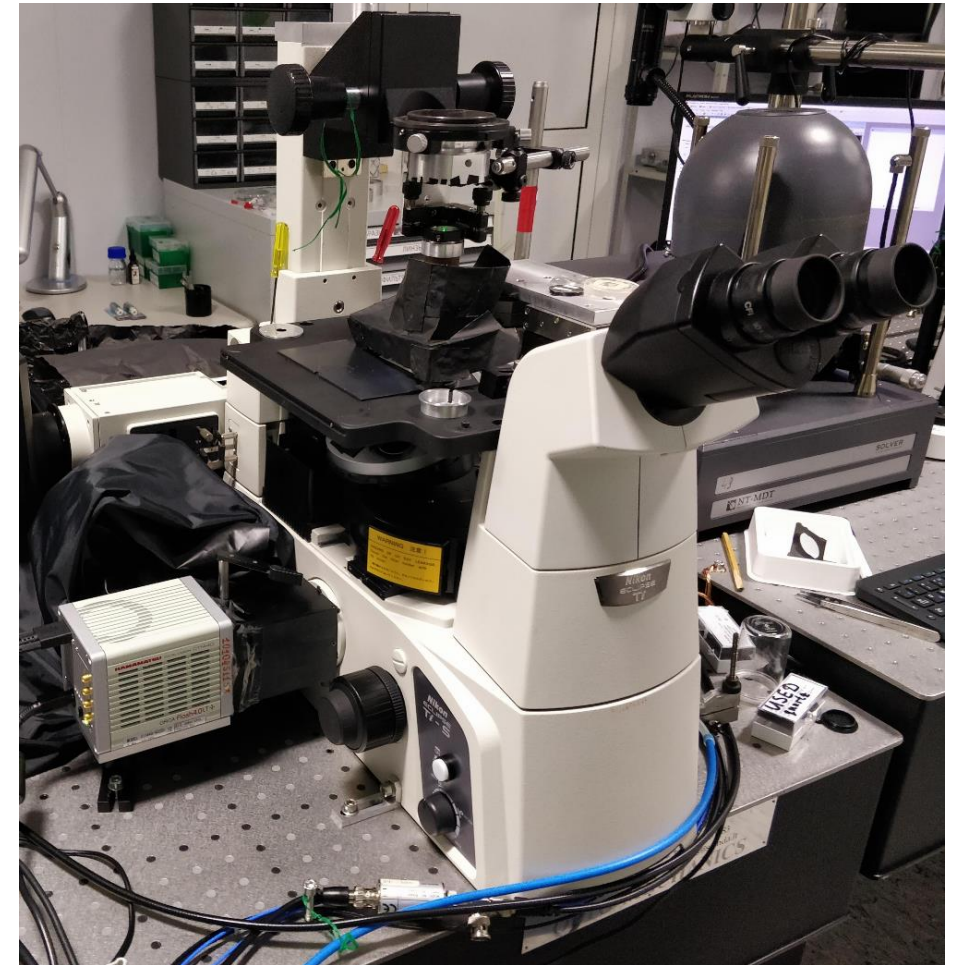
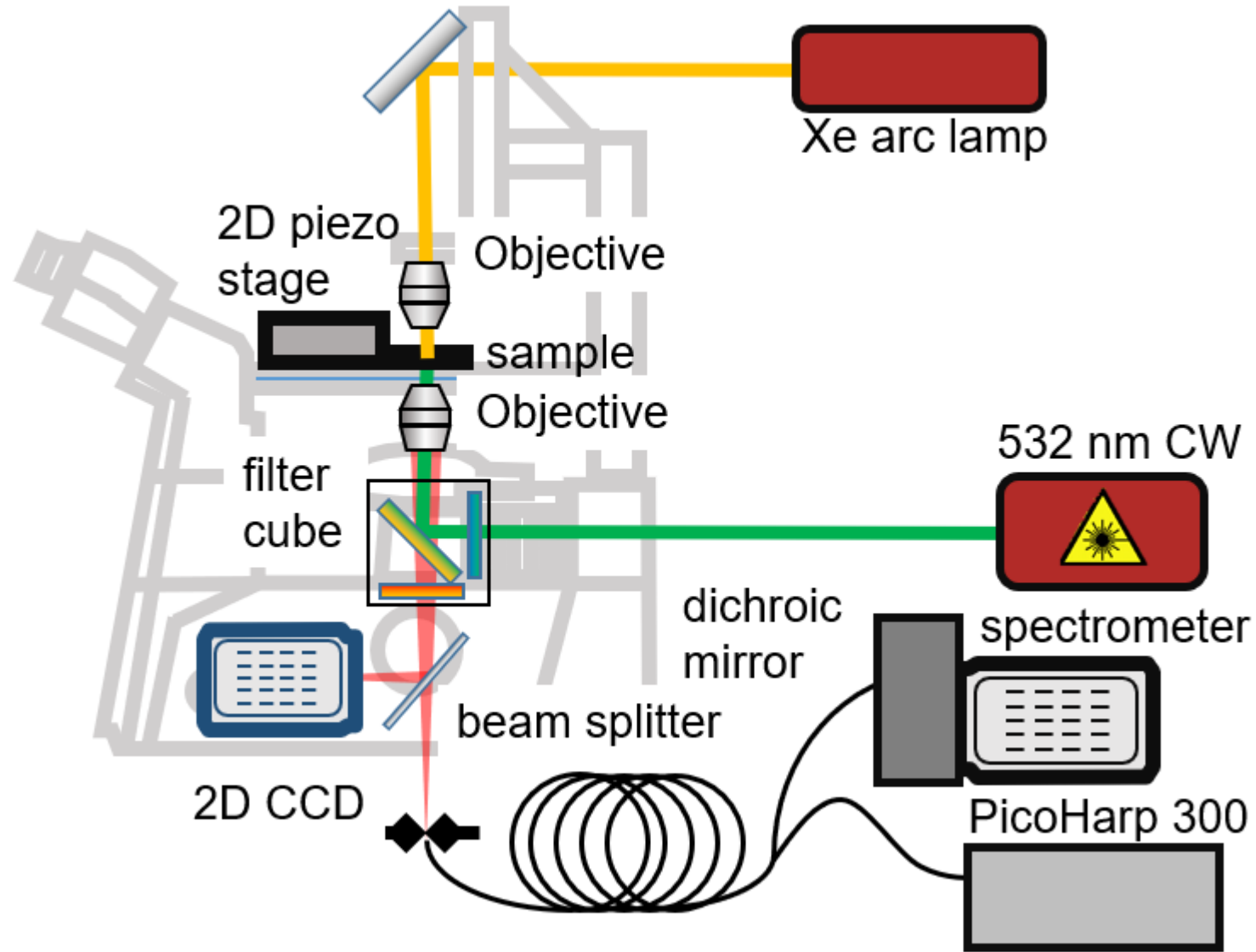
ТЕМ микроскопия образца



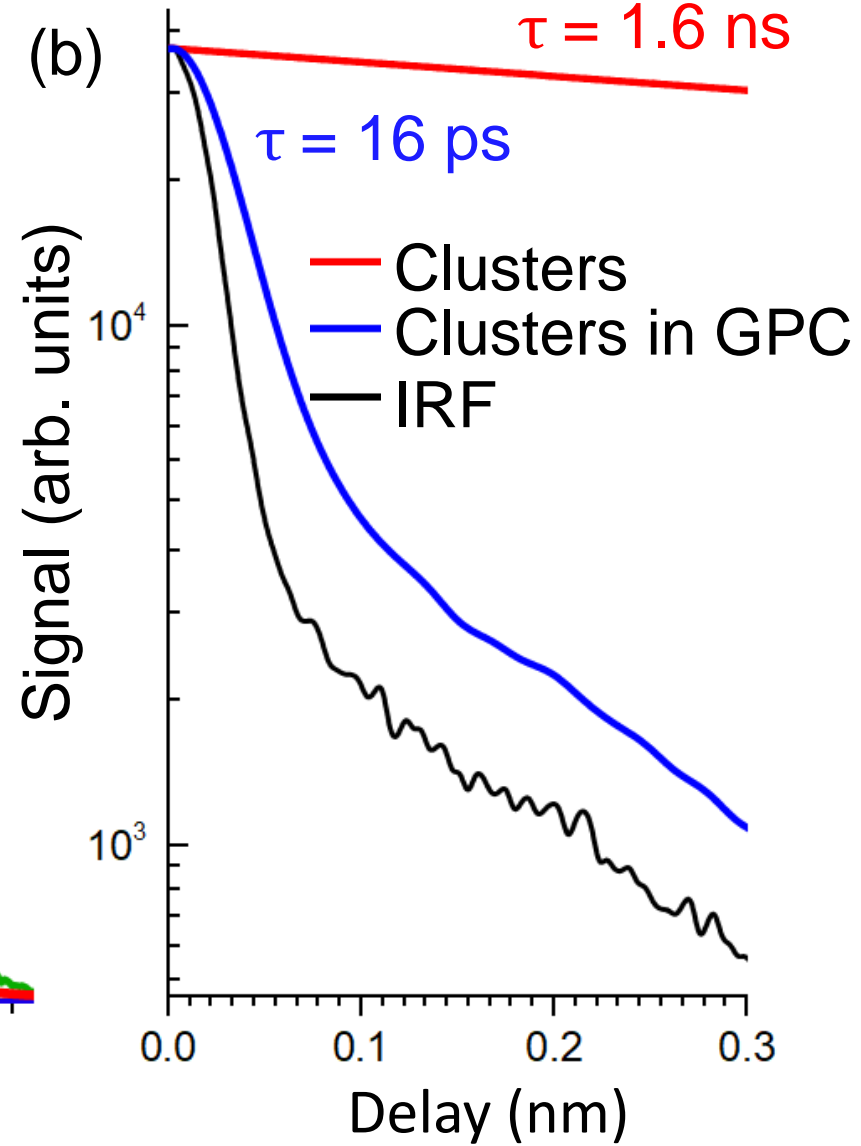
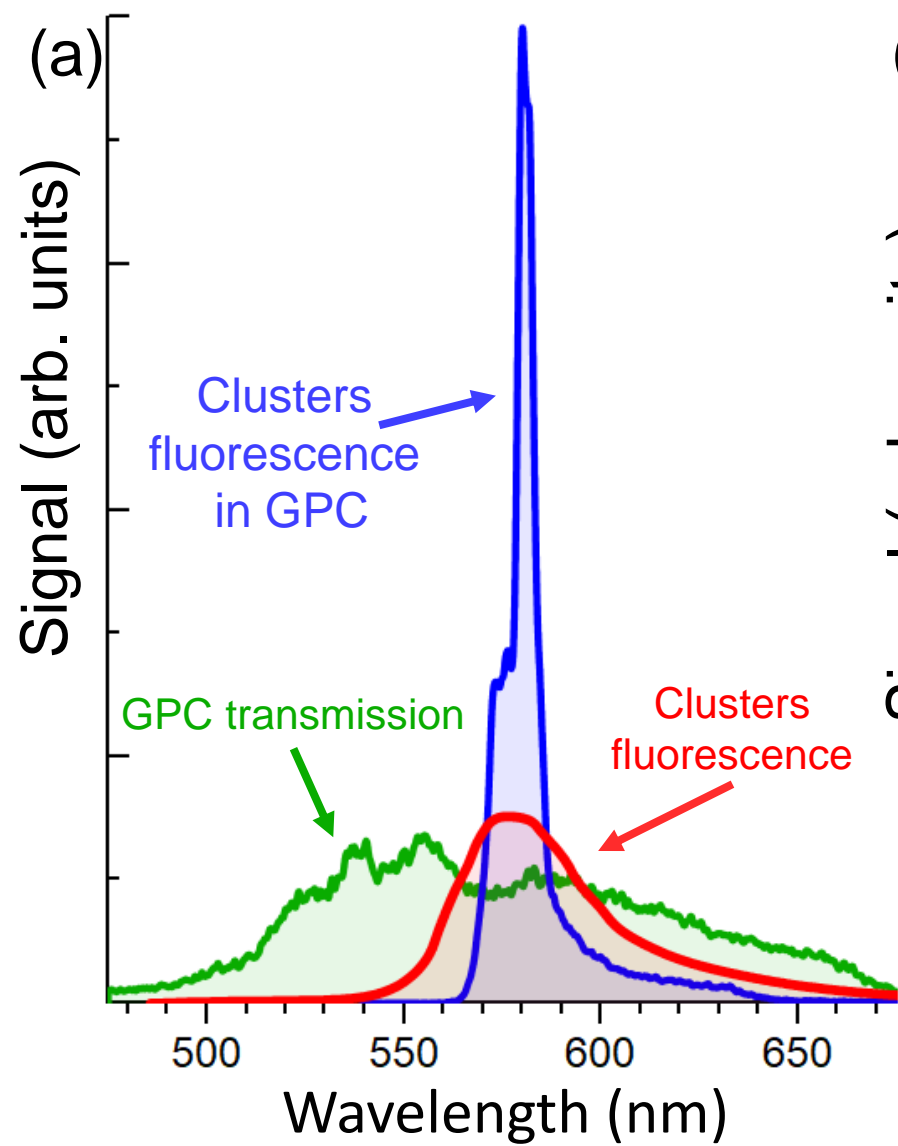
ТЕМ микроскопия образца



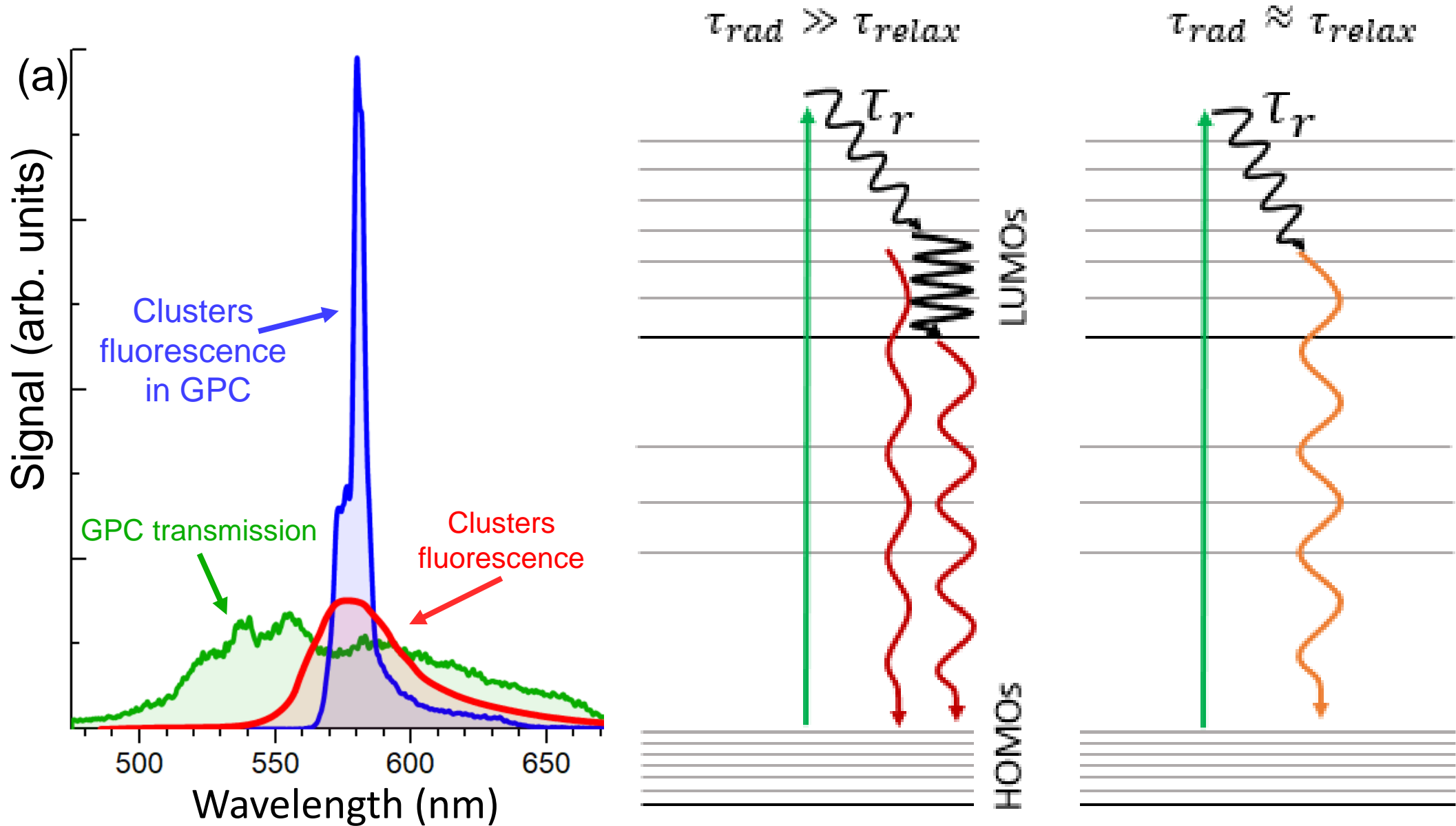
Оптическая микроскопия: экспериментальная установка



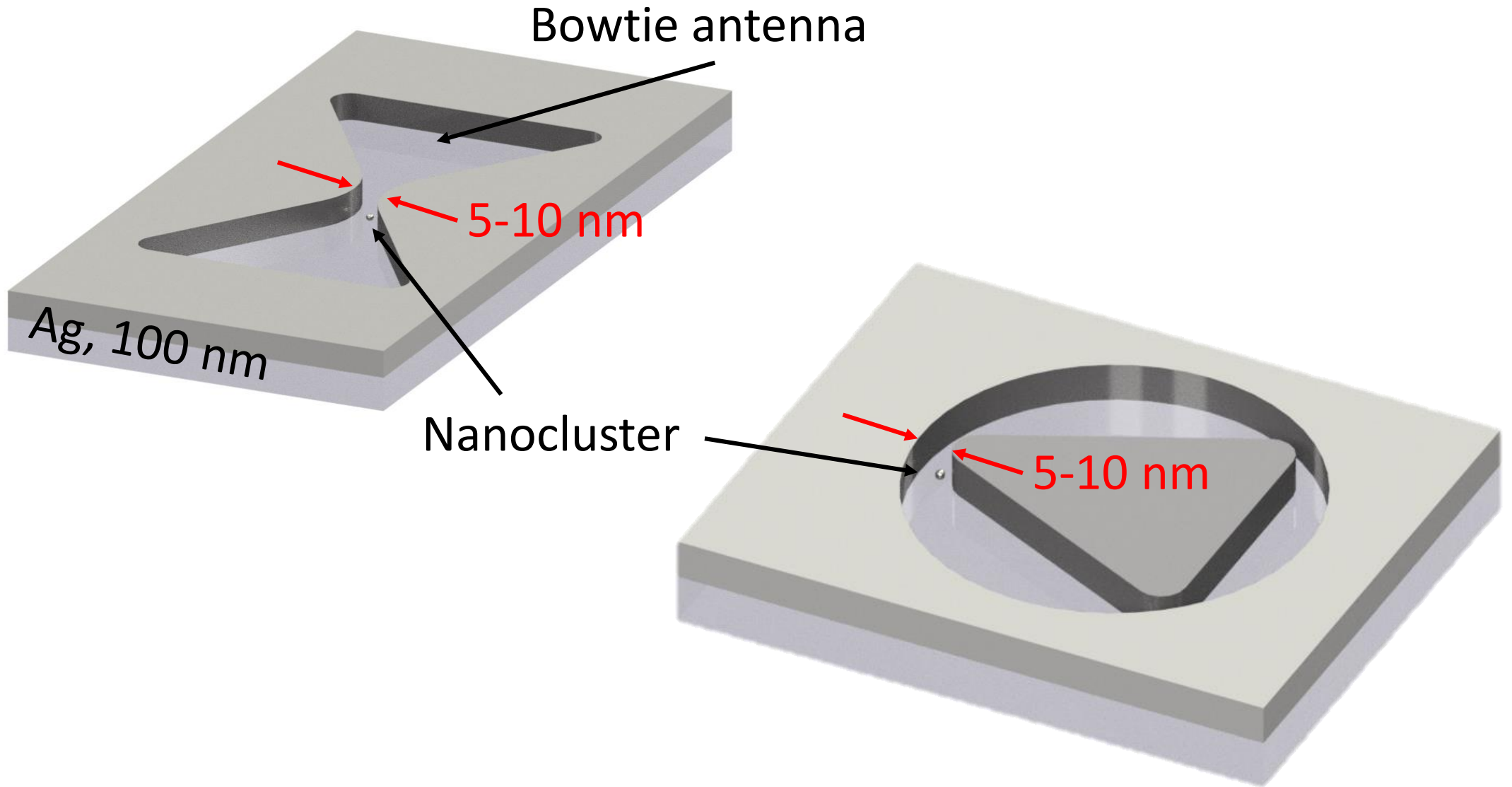
Оптическая микроскопия: влияние резонатора



Оптическая микроскопия: влияние резонатора

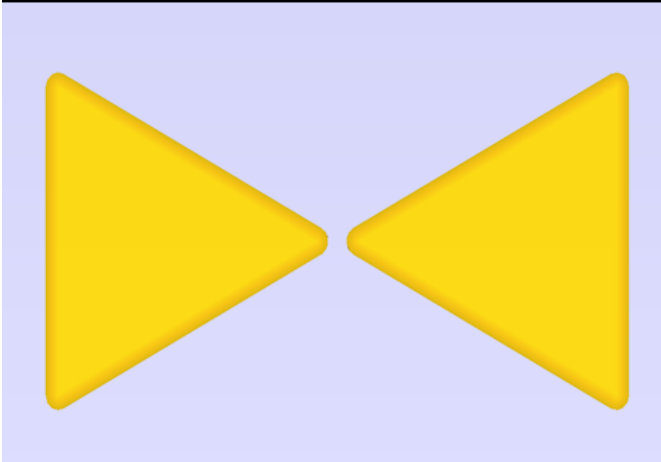


Предложения

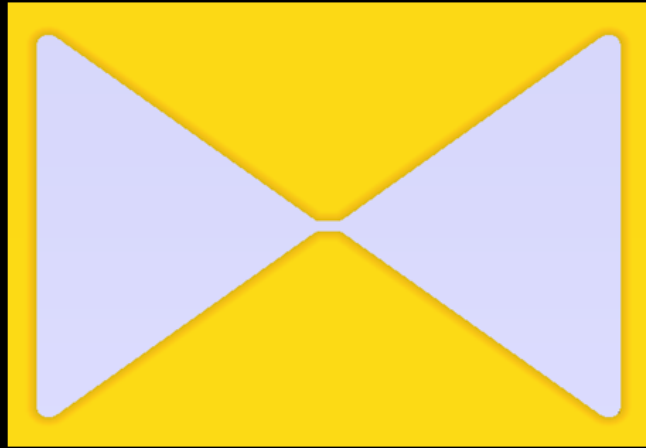


Предложения

Bowtie nanoantenna
Field enhancement ~ 124



Bowtie aperture
Field enhancement ~ 65



Max field enhancement factor - 180

