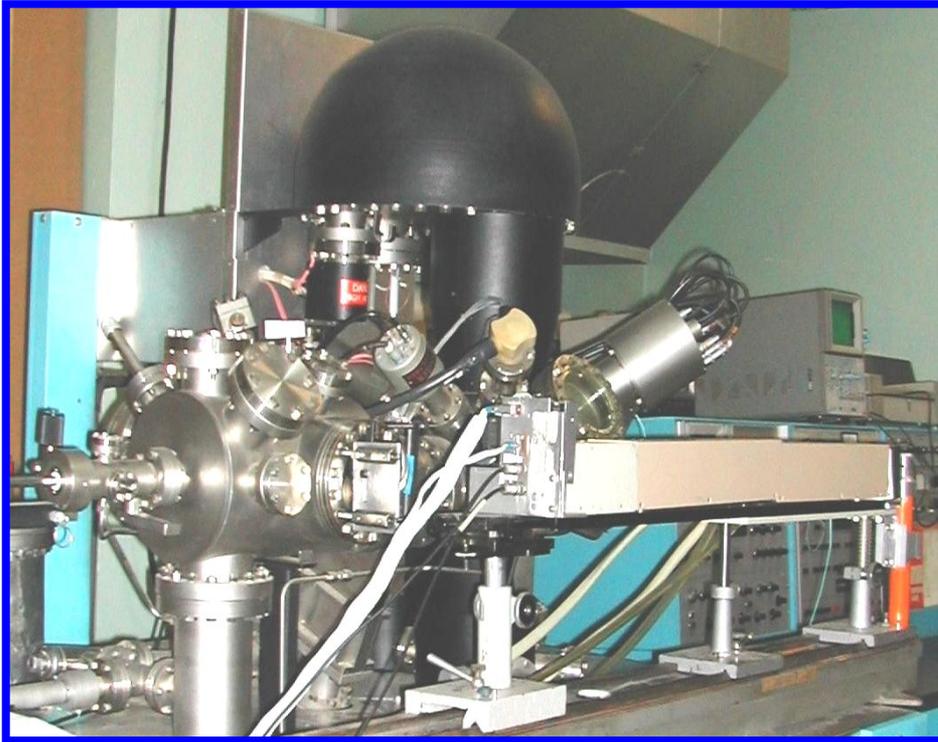


Лекция 12 Просвечивающая электронная микроскопия. Формирование и рост нанокластеров золота в объеме углеродной матрицы за счет локального нагрева электронным пучком. Механизм Лифшица-Слёзова. Сканирующая туннельная спектроскопия.



ИМПУЛЬСНОЕ **Л**АЗЕРНОЕ **О**САЖДЕНИЕ
(ИЛО)

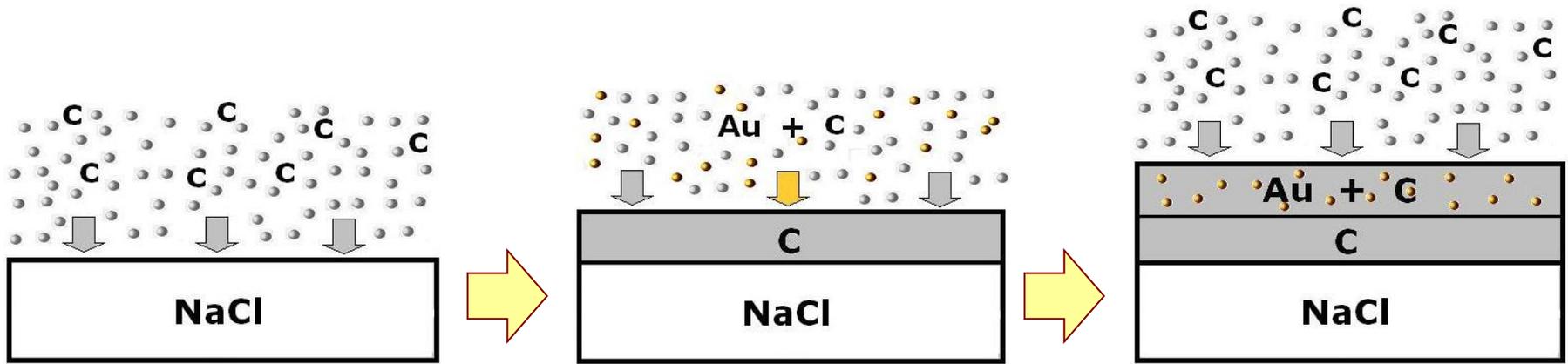
in situ в СВВ ($\sim 10^{-9}$ Торр) камере;

ПРОСВЕЧИВАЮЩАЯ **Э**ЛЕКТРОННАЯ
МИКРОСКОПИЯ **(ПЭМ)**

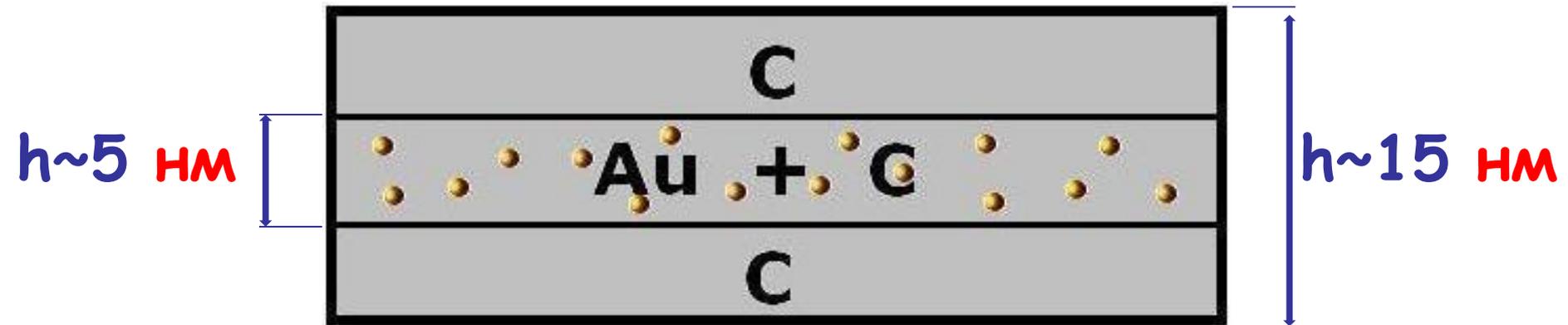
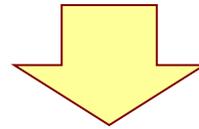
ex situ (JEM 2000 EX JEOL)

Сверхвысоковакуумный электронный
спектрометр XSAM-800

Формирование исходного образца (ИЛО)



Растворение NaCl и анализ методом ПЭМ



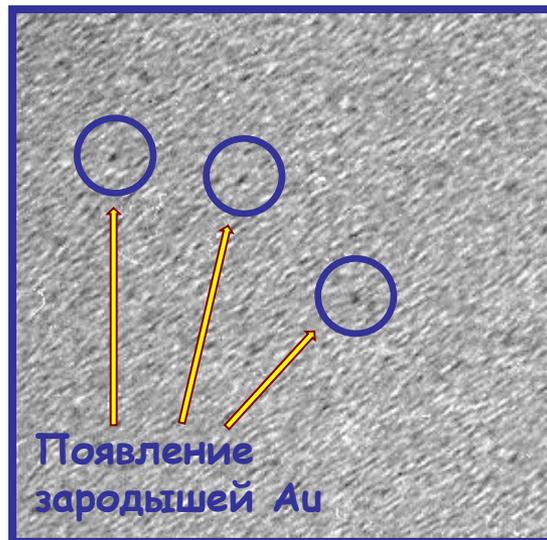
$$n_{\text{Au}} \approx 4.5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$$

ПЭМ изображения образца 50x50 нм²

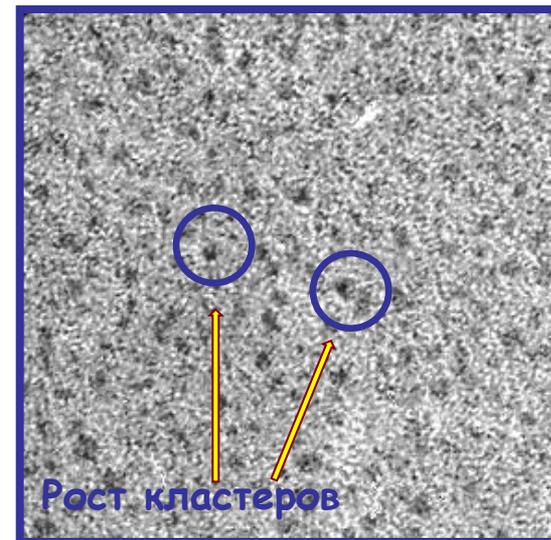
Начальный снимок



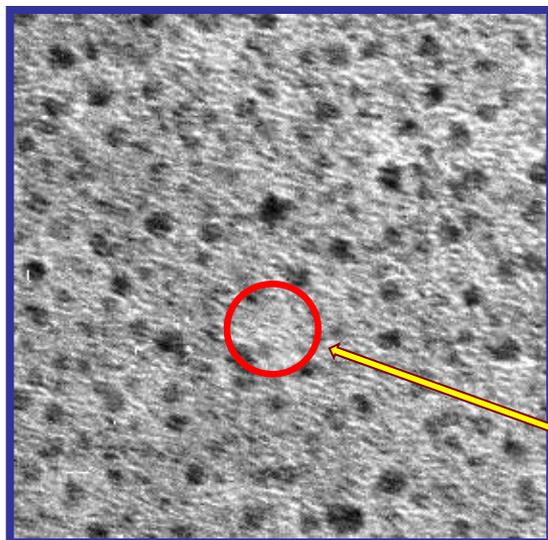
$t = 1$ мин.



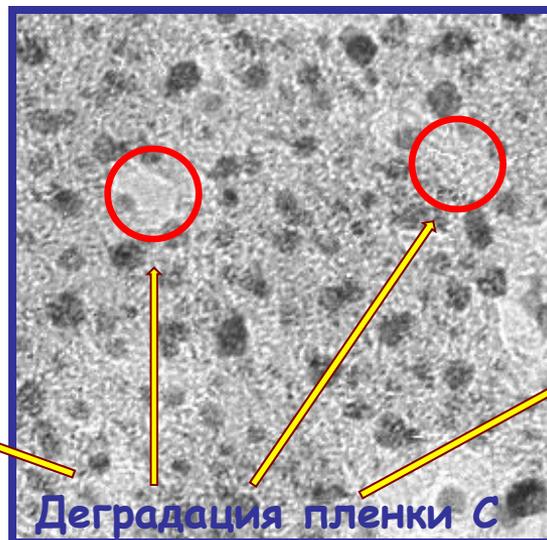
$t = 23$ мин.



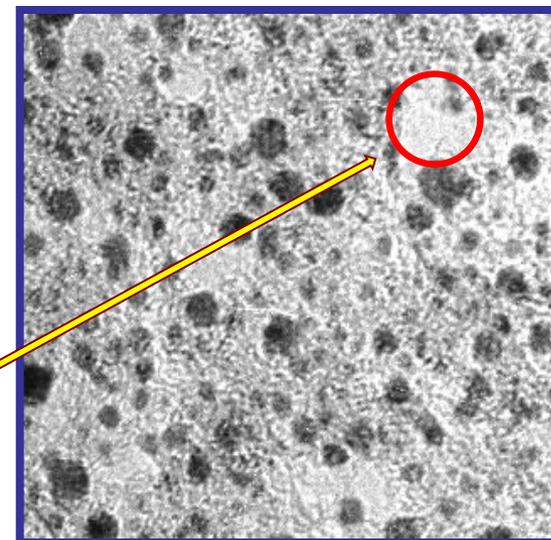
$t = 42$ мин.



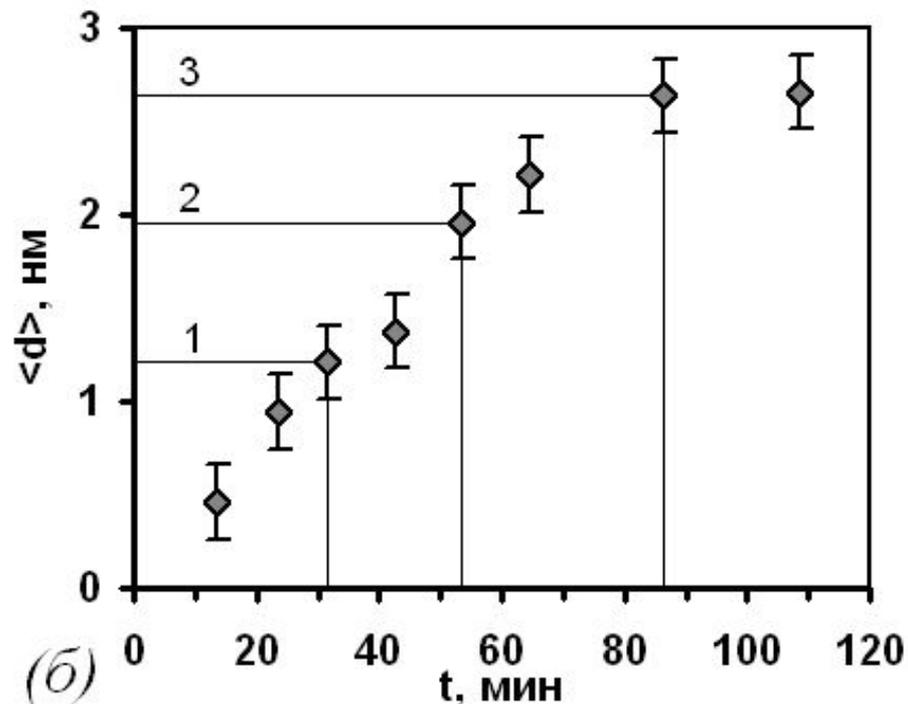
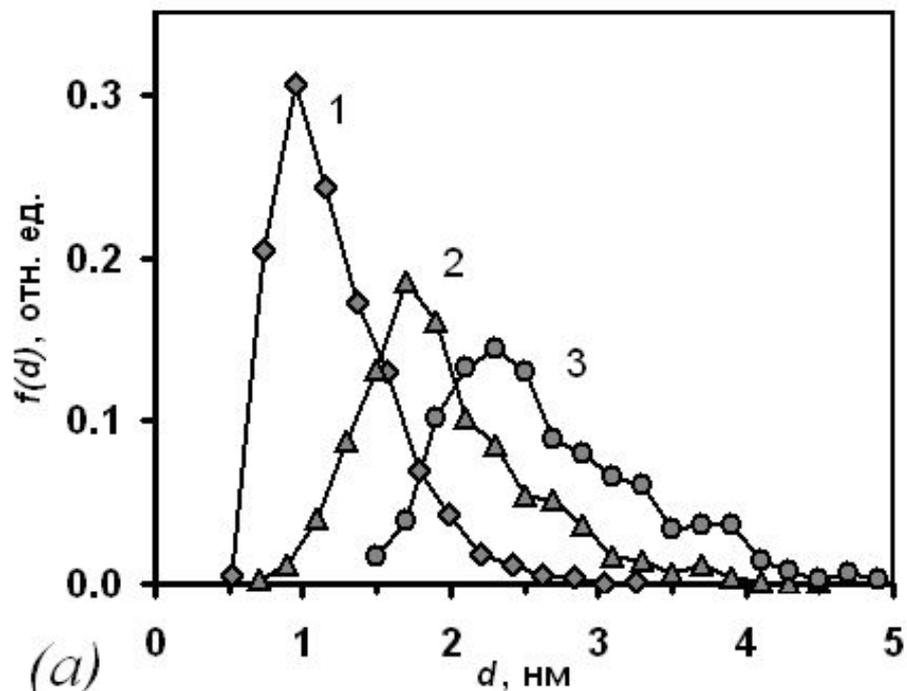
$t = 64$ мин.



$t = 86$ мин.

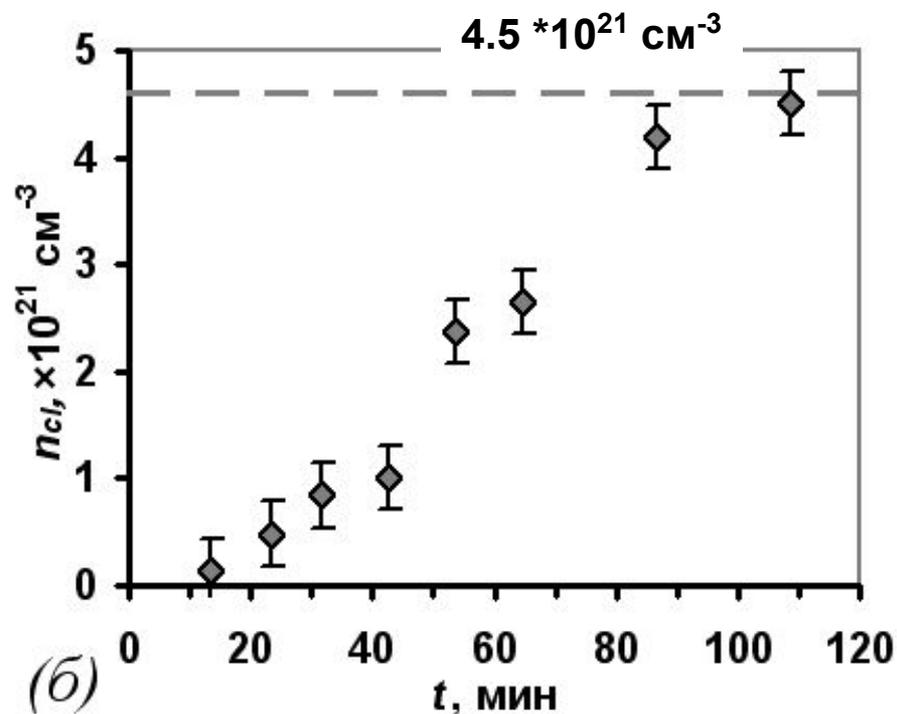
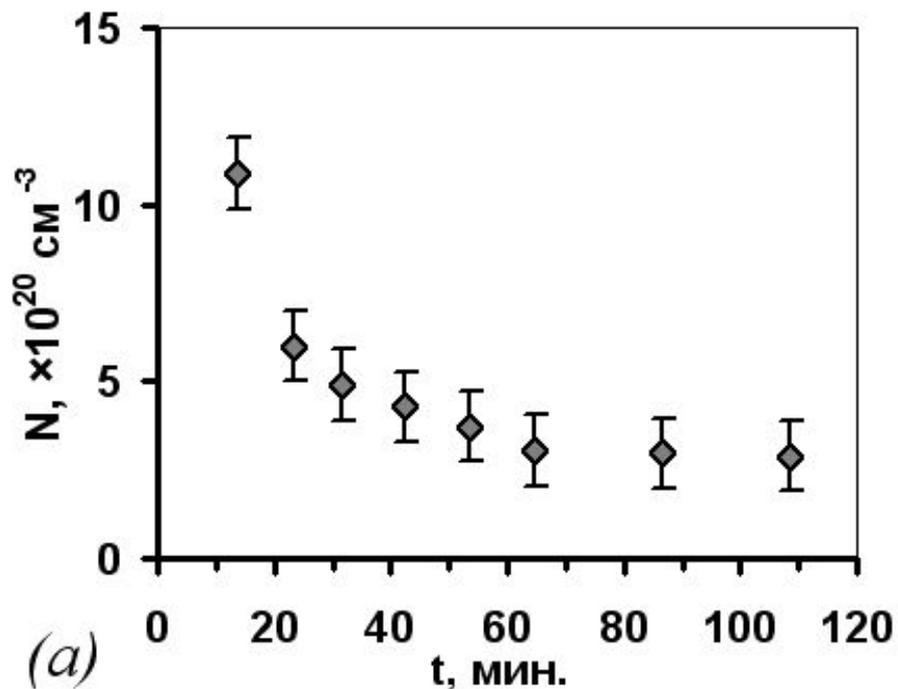


Кинетика роста кластеров Au в матрице углерода.



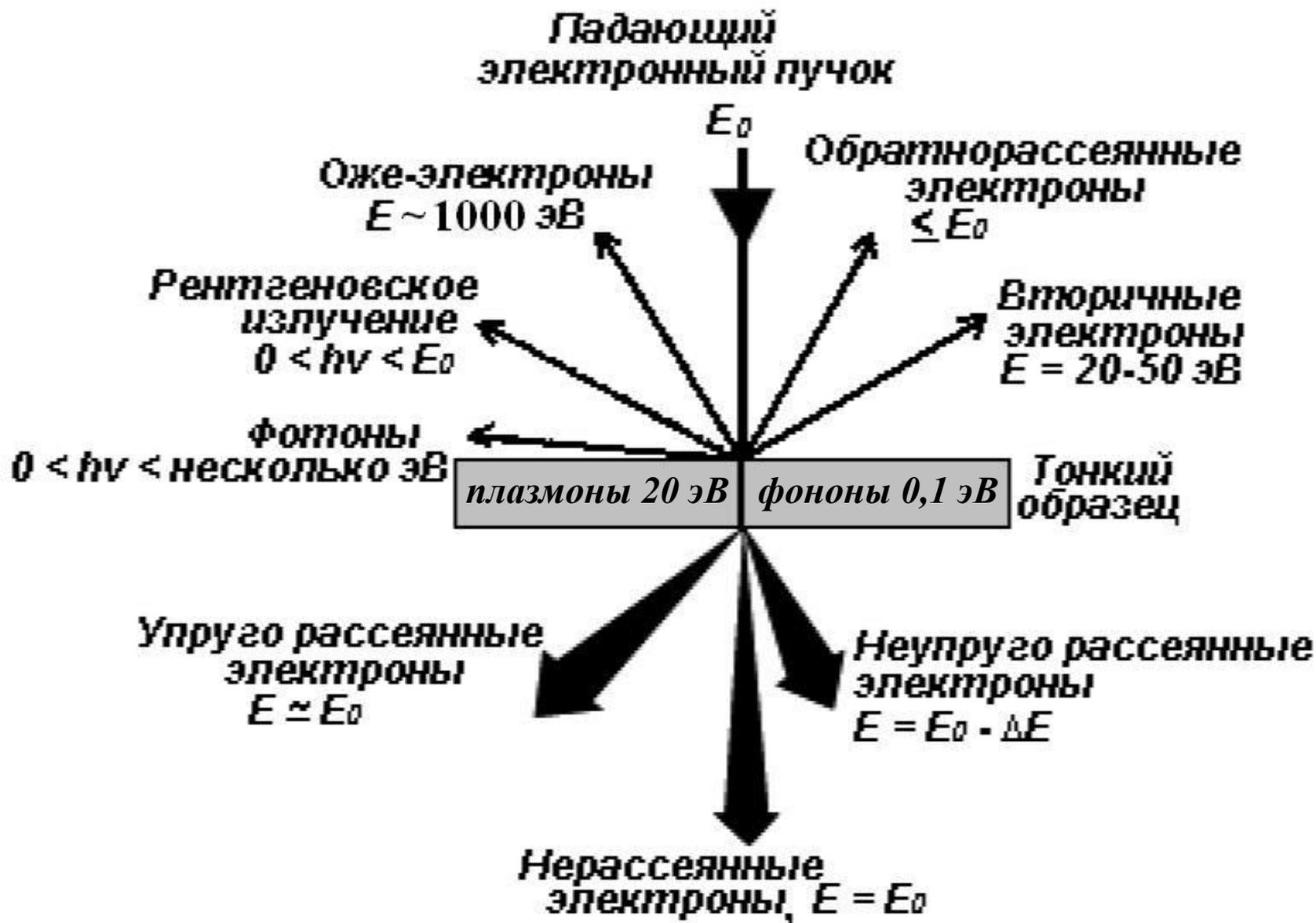
Распределения по размерам $f(d)$ нанокластеров Au, сформированных в углеродной пленке под воздействием электронного пучка, для трех значений времени облучения: 22 мин., 41 мин. и 107 мин. (а); зависимость среднего размера нанокластеров $\langle d \rangle$ от времени облучения t (б)

Кинетика роста кластеров Au в матрице углерода.



Зависимость объемной плотности нанокластеров N (а) и концентрации атомов Au в кластерах (б) от времени t облучения образца электронным пучком. Пунктирной линией показана полная концентрация атомов Au в образце, измеренная методом ОРР

Основные процессы при взаимодействии электронов с веществом в ПЭМ

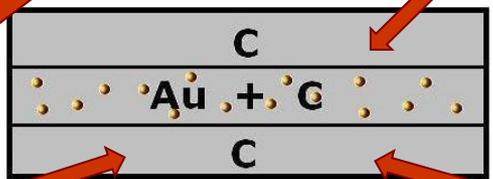


Характеристические потери энергии первичных электронов

Плазмоны
 $\sigma_{pl} \sim 10^{-18} \text{ см}^2$
 $E_{pl} = 20 \text{ эВ}$

$E_0 = 200 \text{ кэВ},$
 $j = 1 \text{ А/см}^2$

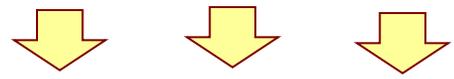
Фононы
 $\sigma_{ph} \sim 10^{-22} \text{ см}^2$
 $E_{ph} = 0.1 \text{ эВ}$



$h \sim 15 \text{ нм}$

Вт-ые электроны
 $\sigma_{FSE} \sim 5 \cdot 10^{-21} \text{ см}^2$
 $E_{FSE} = 100 - 10\,000 \text{ эВ}$

Оже электроны
 $\sigma_{KLL} \sim 10^{-20} \text{ см}^2$
 $E_{Oже} = 274 \text{ эВ (C - KLL)}$



Экспериментальное подтверждение

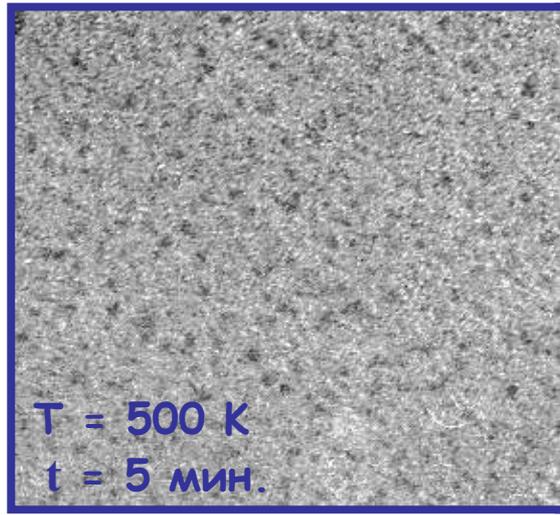
$$\sum_i \epsilon_i j_i h_i = \epsilon \sigma T_{SB}^4$$

$$\sigma_{SB} \sim 5.8 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Вт}}{\text{К}^4 \text{см}^2};$$

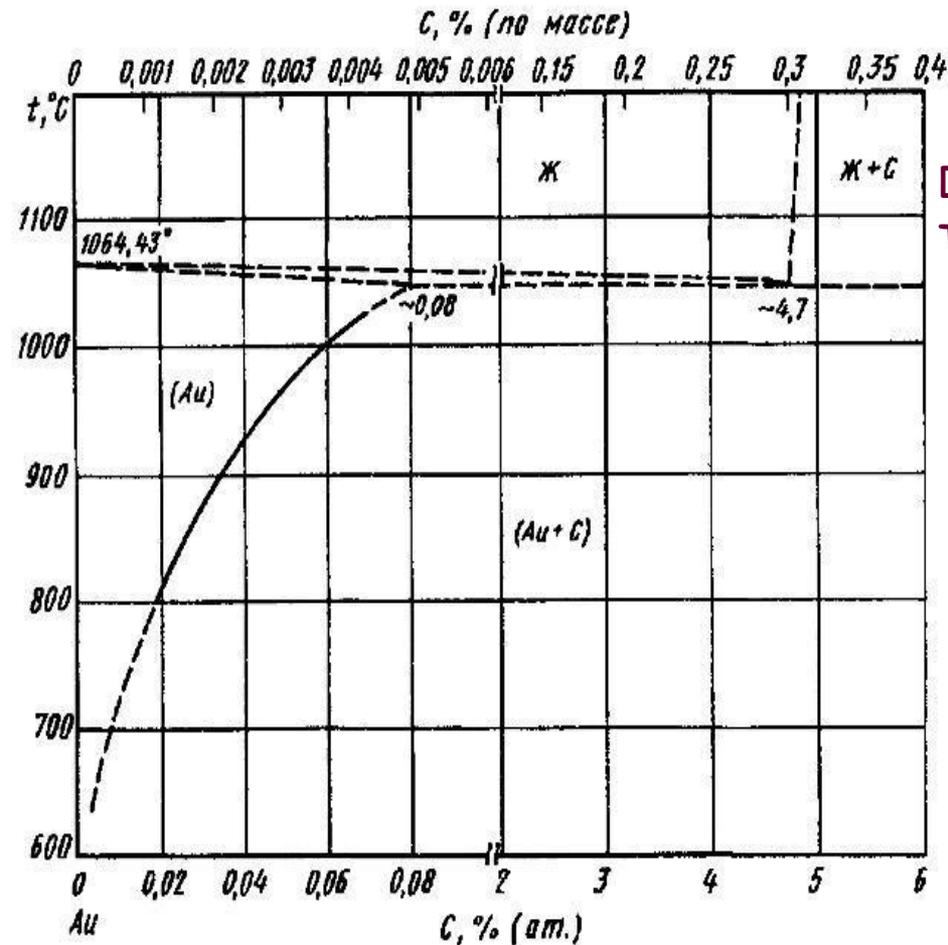
$$am \cdot 10^{23} \text{ }^{-3}; \quad \epsilon = 0.8$$



$\Delta T \sim 100 - 200 \text{ К}$



Влияние температуры на фазовое состояние системы **Au-C**



[Диаграммы состояния двойных металлических систем. Том 1. Под редакцией академика РАН Н.П. Лякишева]

Фазовая диаграмма **C** в **Au**

$$C \sim 1, \% \text{ ат} < C_{\text{Au}} \sim 10, \% \text{ ат}$$

Атомы **Au** образую фазу

$\Delta T = 100$ - D растет в 10^5 раз

Рост кластеров по механизму Лифшица -Слезова

$$N(t) = 0.5 \frac{k_B T c_0(0)}{\gamma D v_m c_\infty} \frac{1}{t}$$

$$\frac{R_c(t)}{R_c(0)} = \left(\frac{8 \gamma v_m^2}{9 k_B T} c_0 D c_\infty t \right)^{1/3}$$

$$R_c(0) = \frac{2 \gamma c_\infty v_m}{k_B T (c_0 - c_\infty)}$$

Плотность кластеров

Критический радиус кластера

Критический размер зародыша

объем атома Au ($\sim 10 \times 10^{-24} \text{ м}^3$)

c_0 – начальная концентрация атомов Au ($\sim 4.5 \times 10^{21} \text{ см}^{-3}$)

γ – коэффициент поверхностного натяжения Au ($\sim 1000 \text{ эрг / см}^2$)

c_∞ – равновесная концентрация для плоской поверхности раздела фаз

Описание роста нанокластеров **Au** при нагреве
в рамках механизма **Лифшица-Слезова**.

