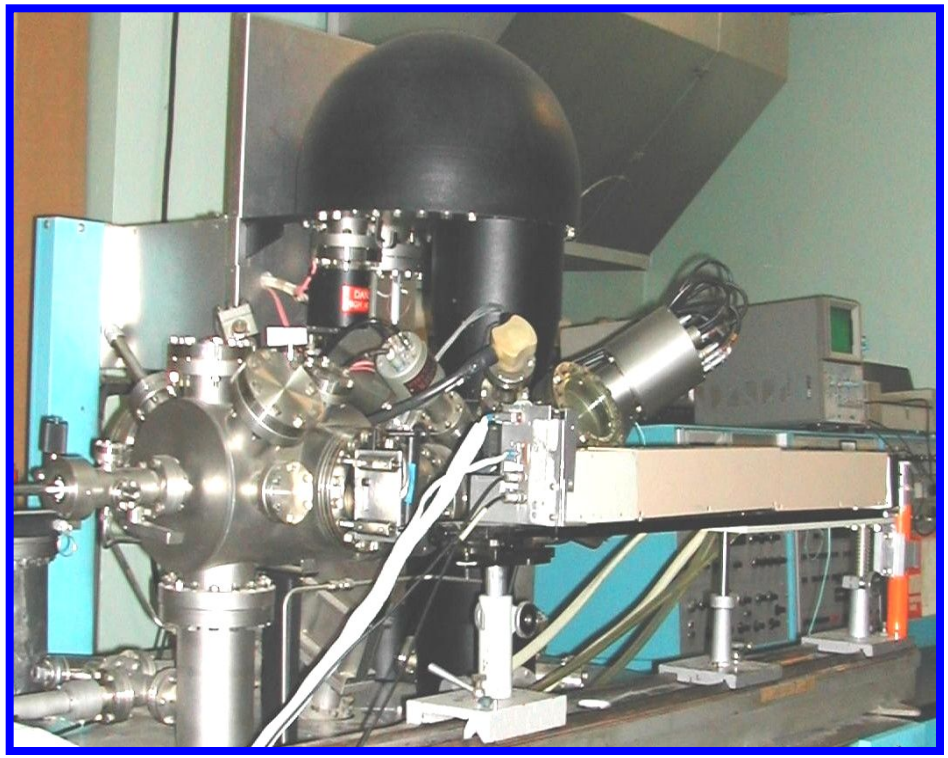
Лекция 12 Просвечивающая электронная микроскопия. Формирование и рост нанокластеров золота в объеме углеродной матрицы за счет локального нагрева электронным пучком. Механизм Лифшица-Слёзова. Сканирующая туннельная спектроскопия.



Сверхвысоковакуумный электронный спектрометр XSAM-800

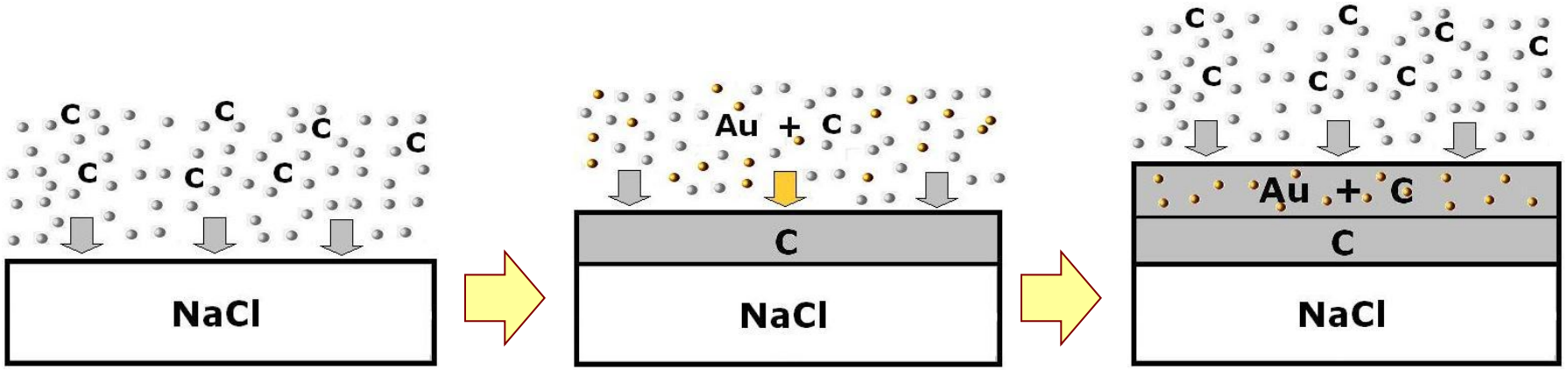
ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ОСАЖДЕНИЕ (ИЛО)

in situ в СВВ (~10^{-9} Торр) камере;

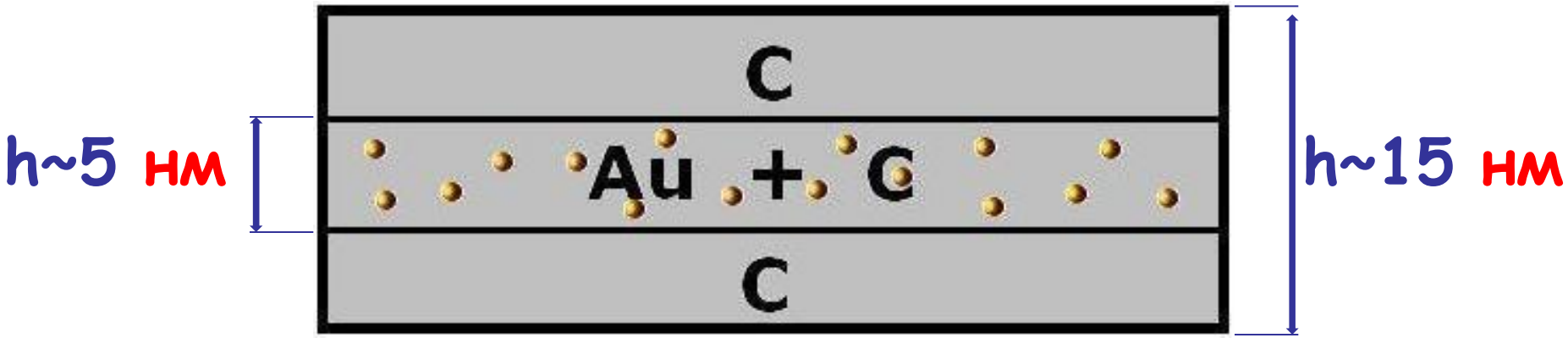
ПРОСВЕЧИВАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ (ПЭМ)

ex situ (JEM 2000 EX JEOL)

Формирование исходного образца (ИЛО)



Растворение NaCl и анализ методом ПЭМ

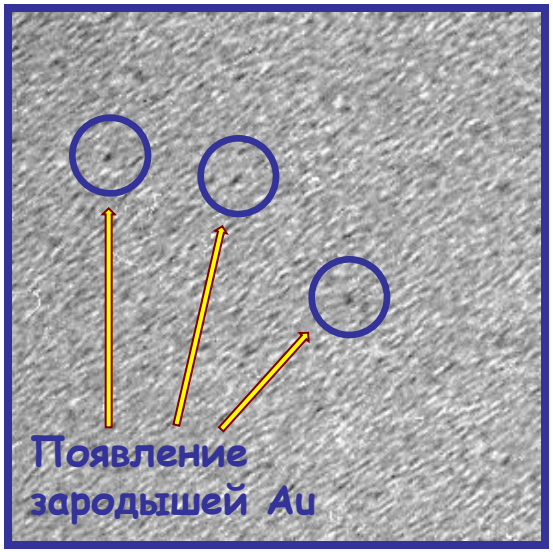


$n_{Au} \approx 4.5 * 10^{21}$ см$^{-3}$

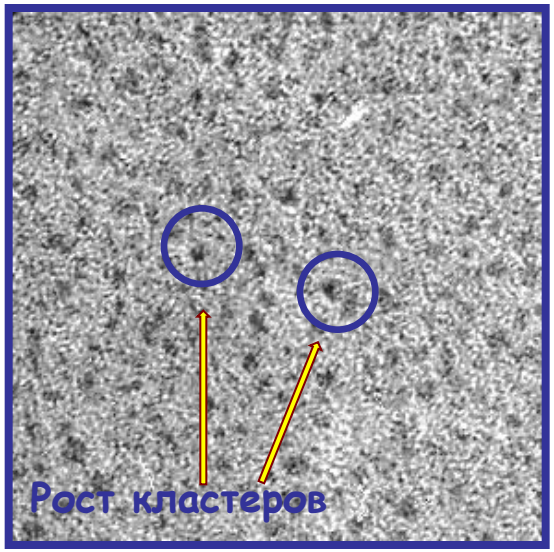
ПЭМ изображения образца 50x50 нм^2

Начальный снимок

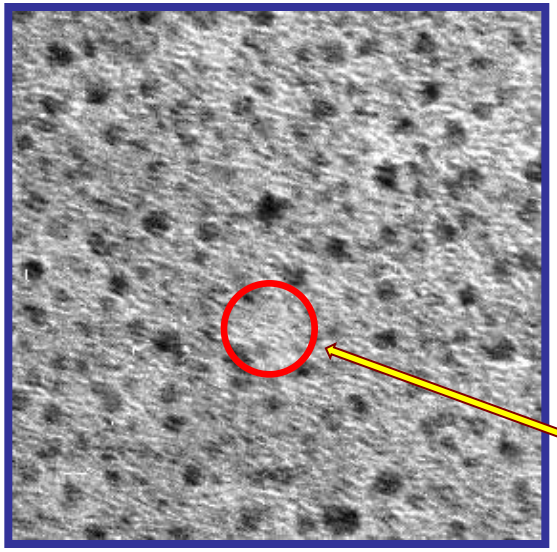
t = 1 мин.



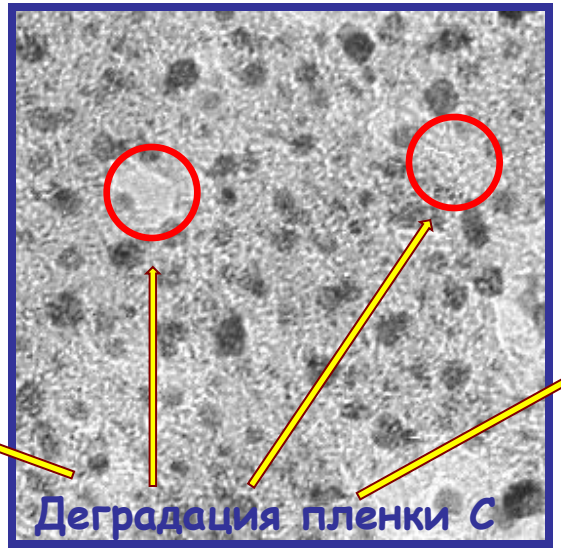
t = 23 мин.



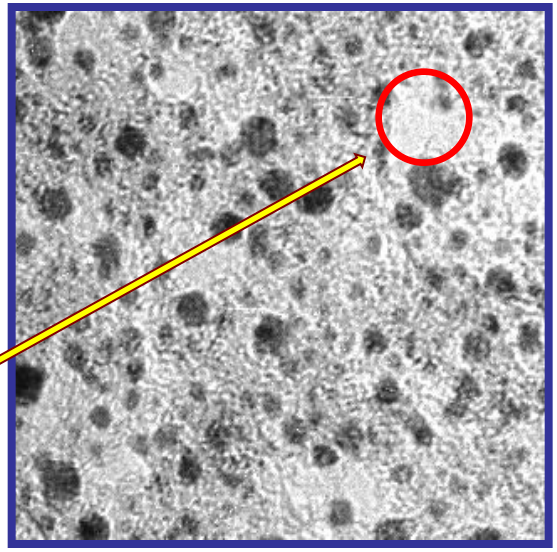
t = 42 мин.



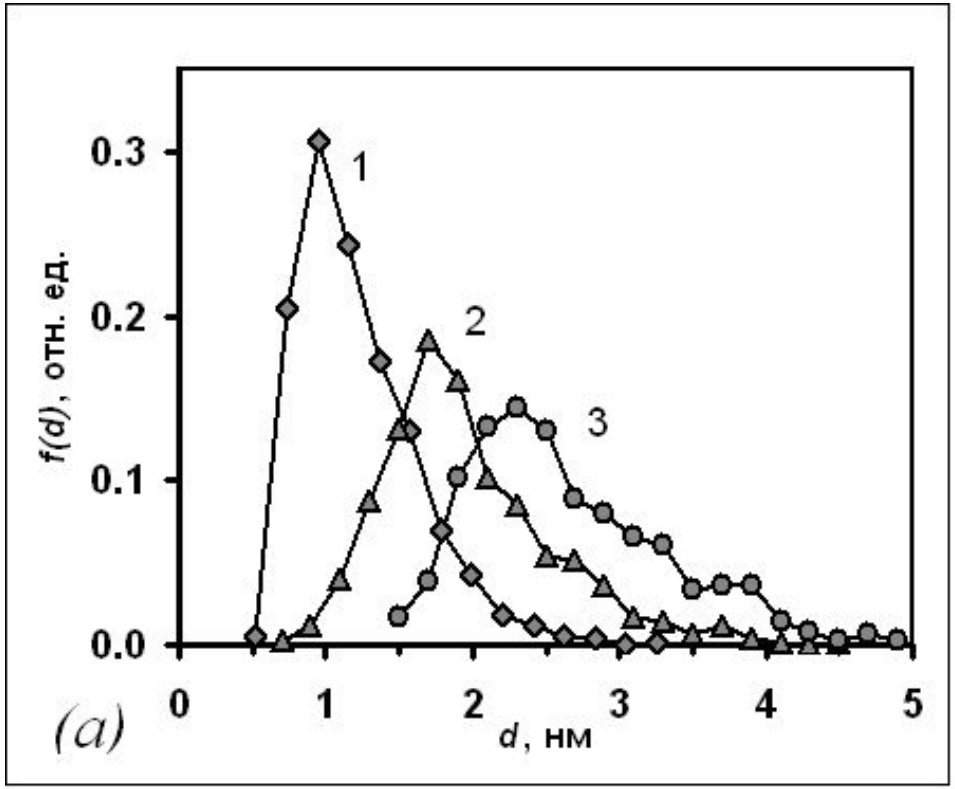
t = 64 мин.

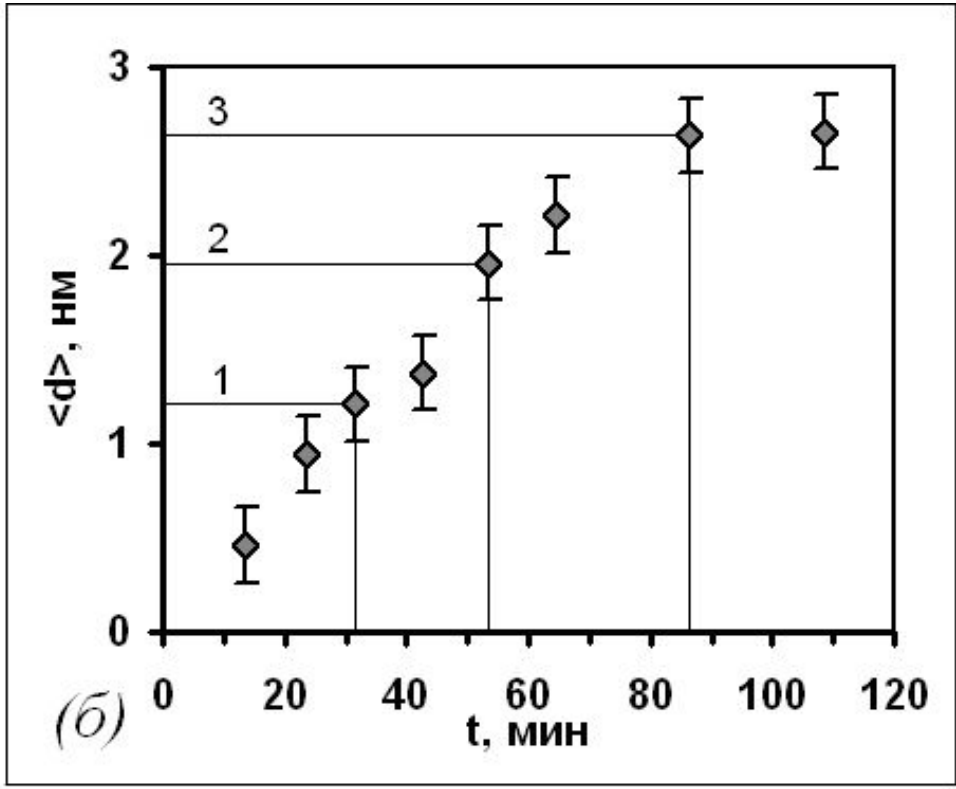


t = 86 мин.



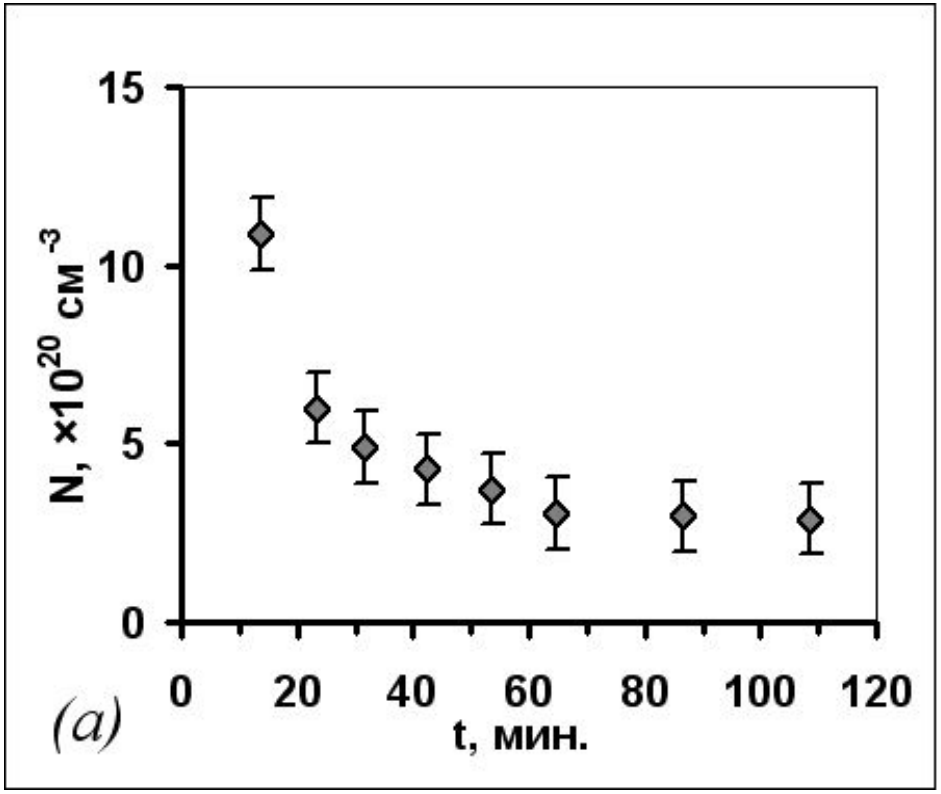
Кинетика роста кластеров Au в матрице углерода.

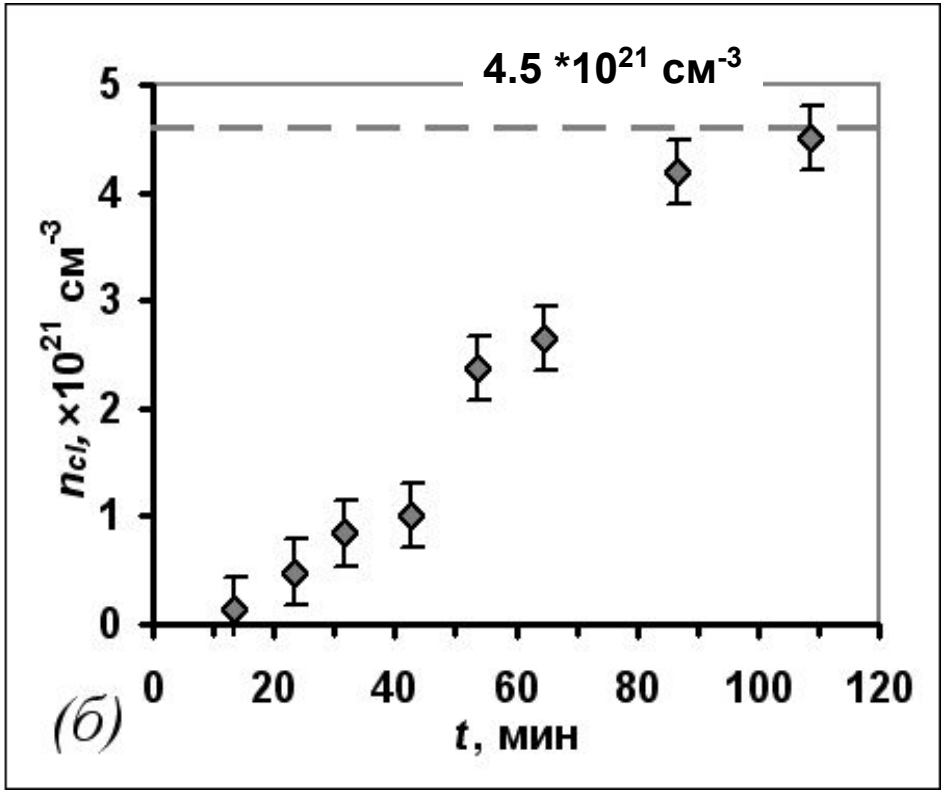




Распределения по размерам *f*(*d*) нанокластеров Au, сформированных в углеродной пленке под воздействием электронного пучка, для трех значений времени облучения: 22 мин., 41 мин. и 107 мин. (*а*); зависимость среднего размера нанокластеров <*d*> от времени облучения *t* (*б*)

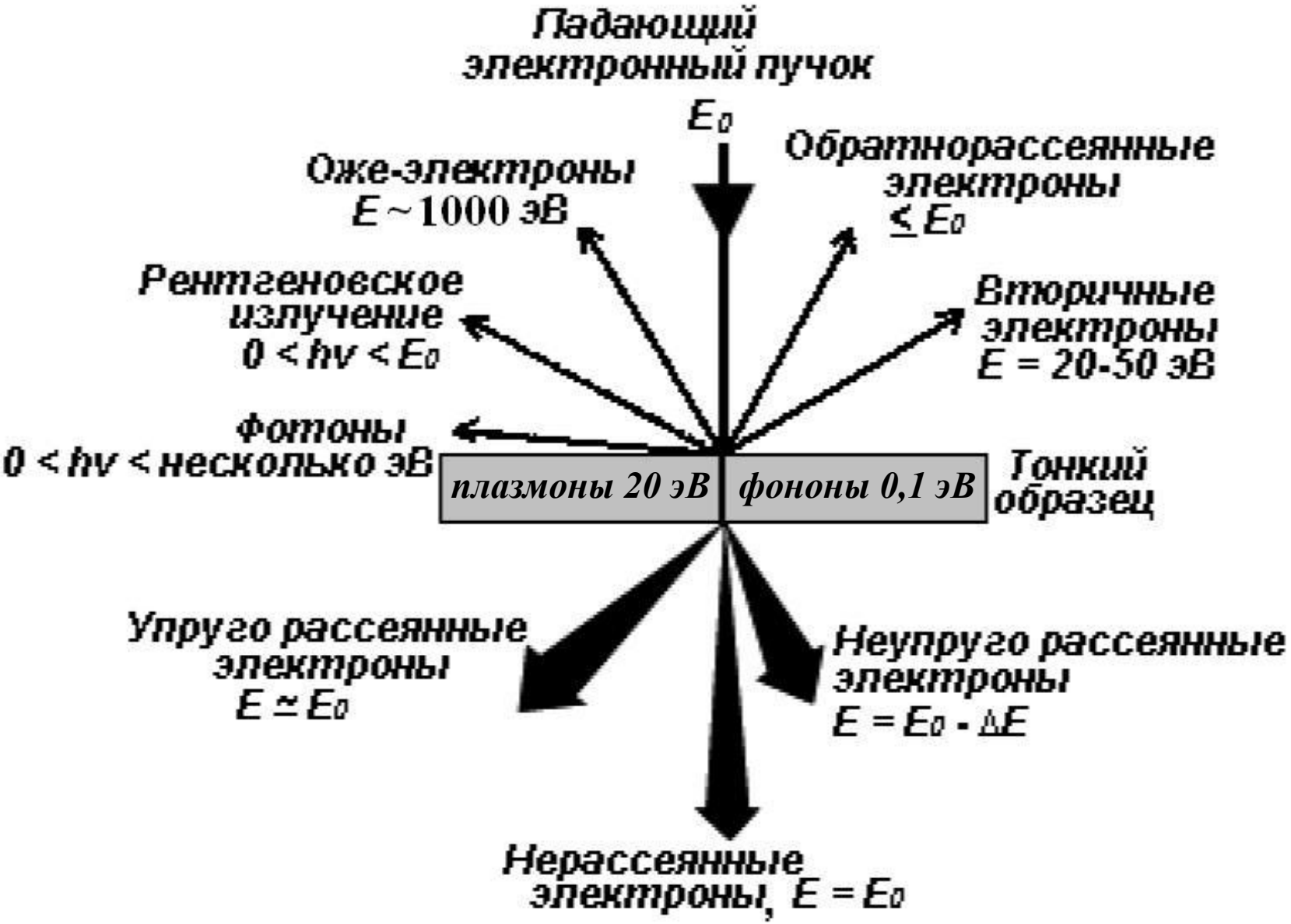
Кинетика роста кластеров Au в матрице углерода.





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

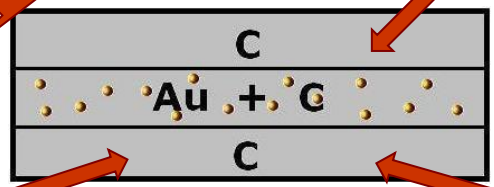


Характеристические потери энергии первичных электронов

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

E_0=200 кэВ,
j=1 А/см^2

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



h ~ 15 нм

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

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

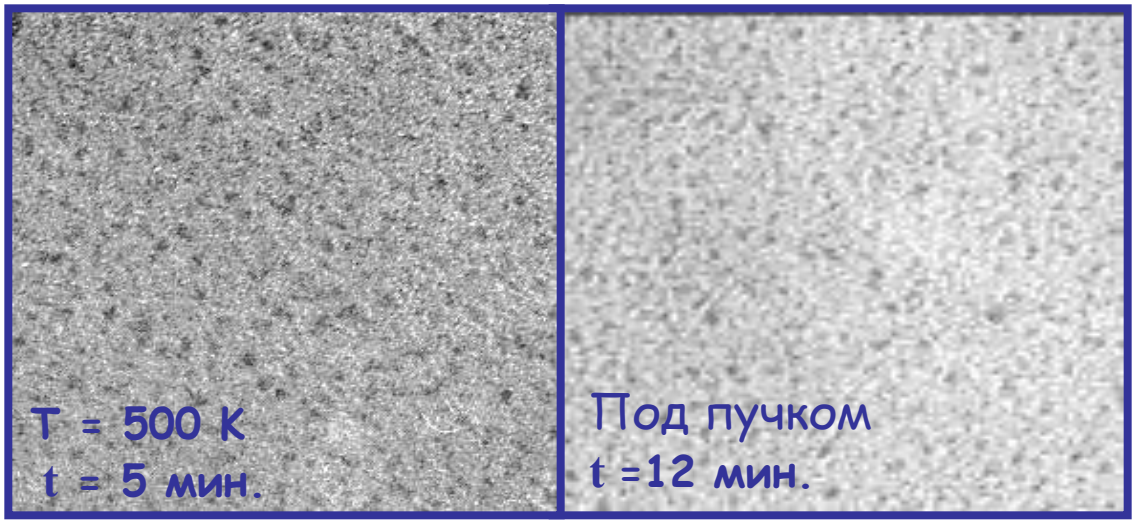
$$\sum_i E_i j_i h_i = \varepsilon \sigma T_{SB}^4$$

$$\sigma_{SB} \sim 5.8\ 10^{-12}\ \frac{Bm}{K^4 см^2};$$

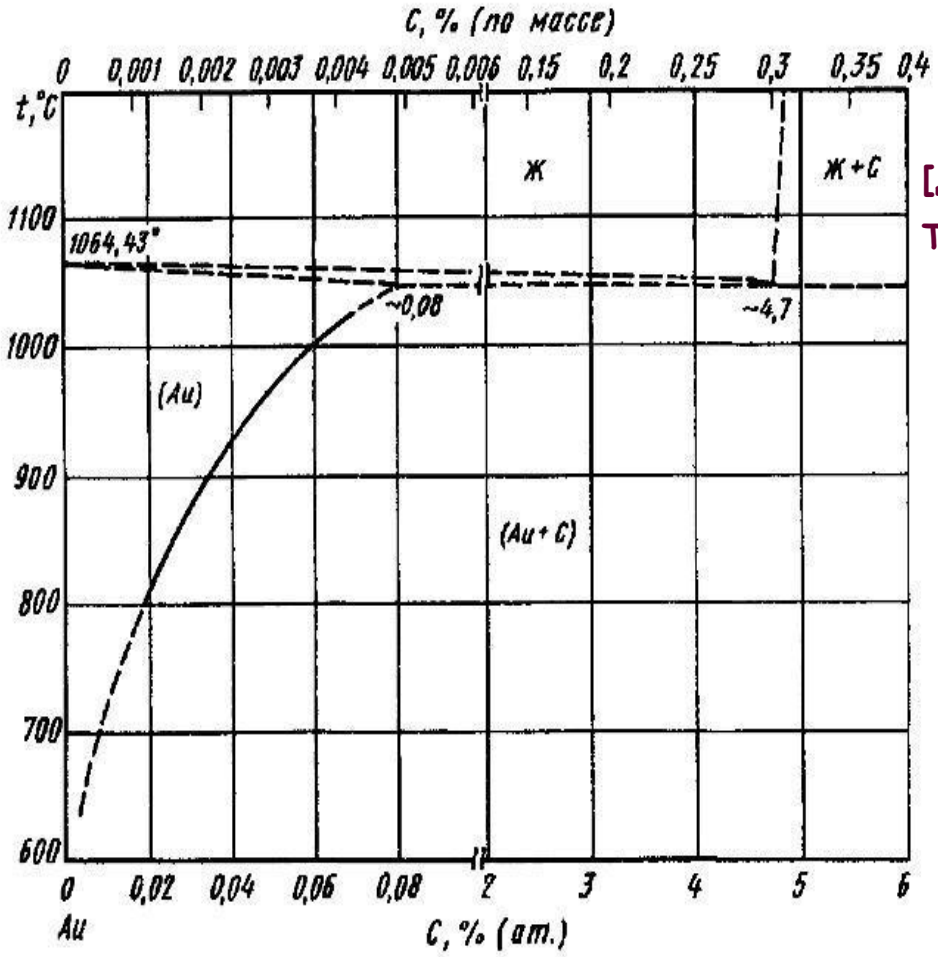
$$nм \sim 10^{23}\ ^{-3};\ \varepsilon = 0.8$$

ΔT ~ 100-200 K

Экспериментальное подтверждение



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

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

Атомы Au образую фазу

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

Рост кластеров по механизму Лифшица -Слезова

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

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

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

N – плотность кластеров

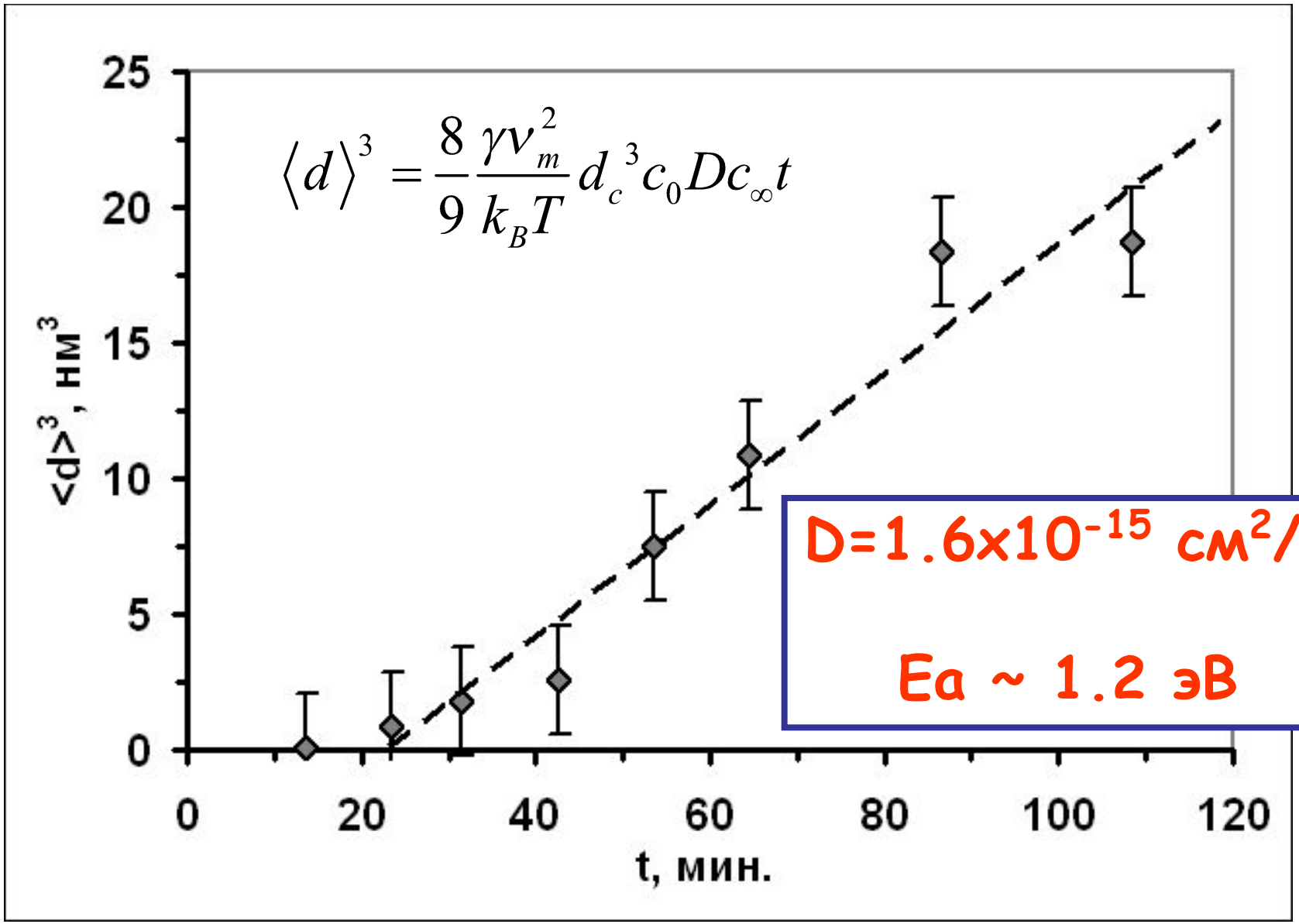
R_c – критический радиус кластера

$R_c(0)$ – критический размер зародыша

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

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

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

c_∞ – равновесная концентрация для плоской поверхности раздела фаз

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