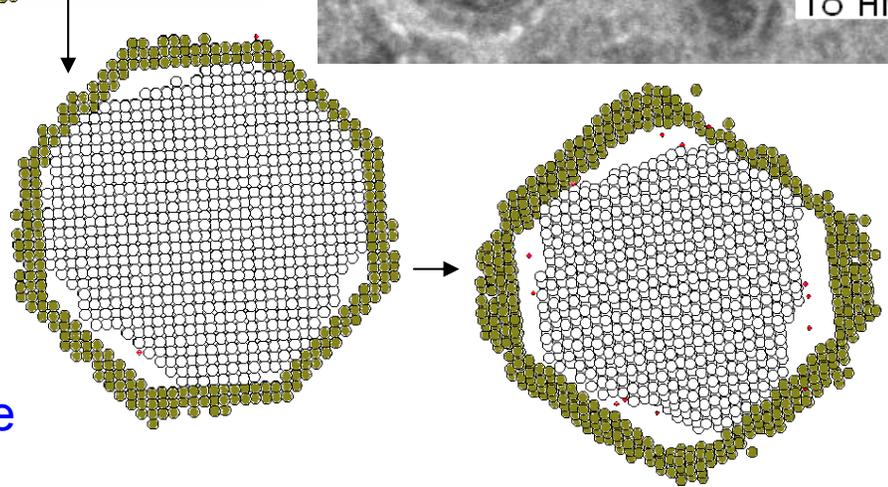
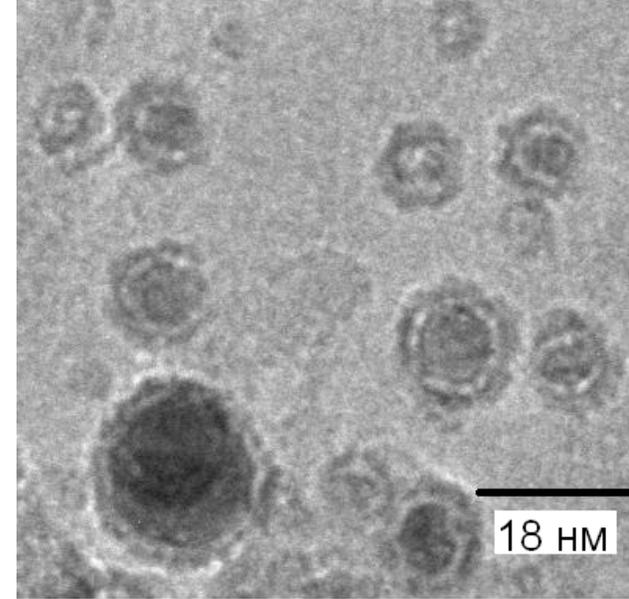
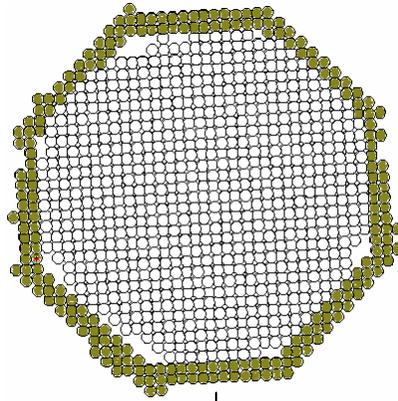
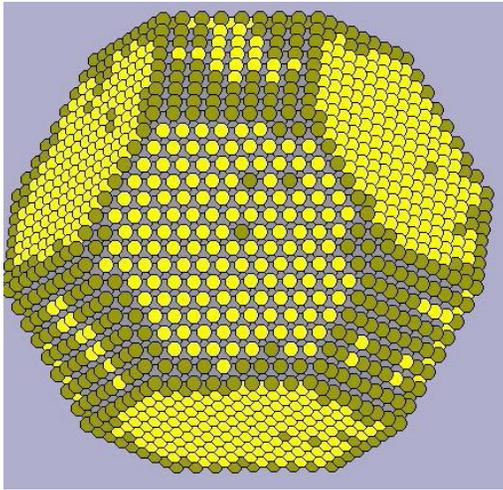


09.11.2009

Химические процессы, приводящие к деградации наноструктур:
окисление на воздухе и в жидких средах,
срастание малых частиц,
сплавообразование.
Методы контроля.

Окисление малых частиц кислородом



Зависимость адсорбции кислорода от кристаллографической ориентации:

вершины

↓
ребра

↓
грань (100)

↓
.....
грань (111)

Факторы, благоприятствующие адсорбции:
координационная ненасыщенность,
малая плотность упаковки

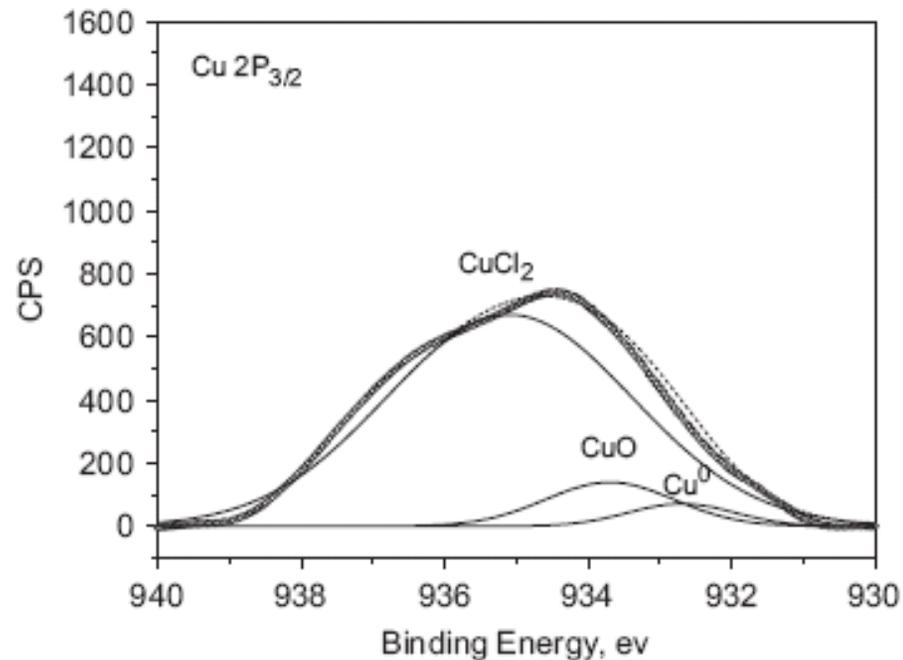
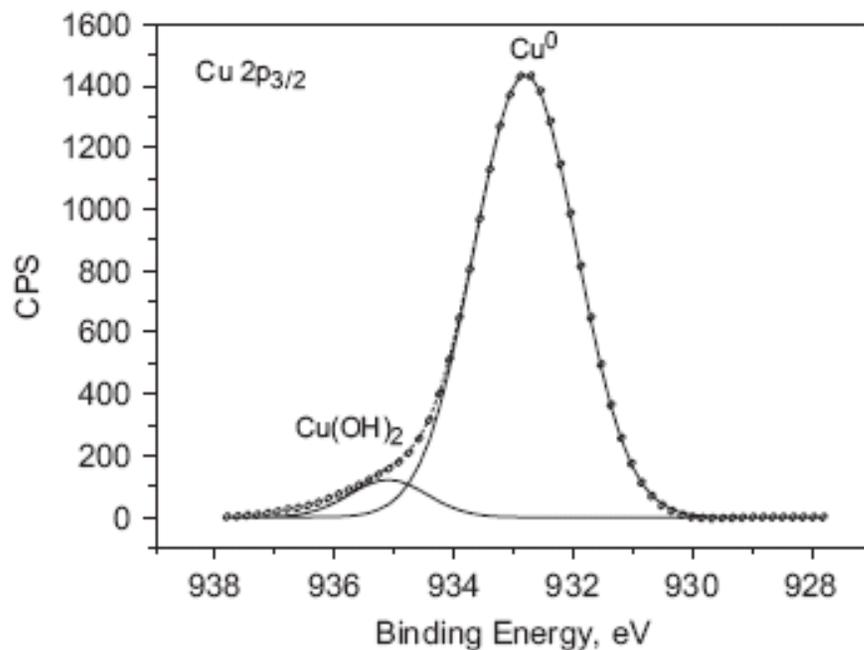


П.А.Чернавский и др., 2009

Различие коэффициентов диффузии O и M

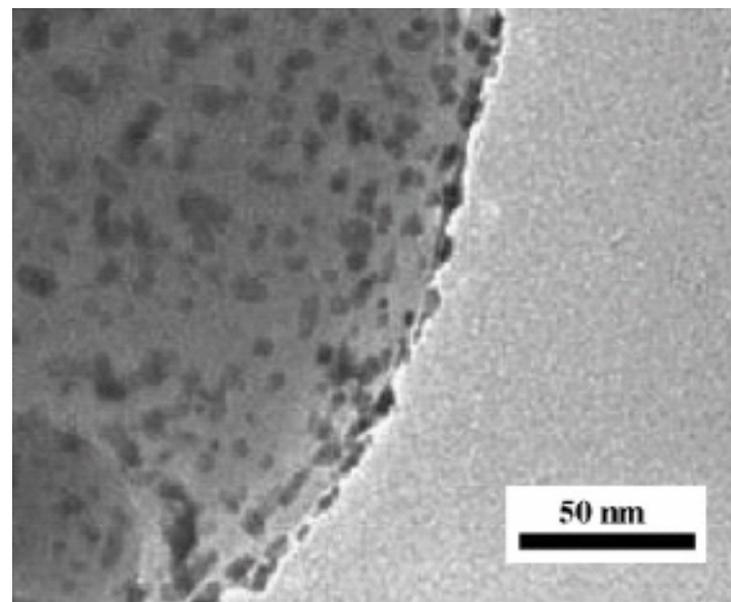
↓
пустоты

Взаимодействие металла с примесями-окислителями



хлорсодержащие органические
вещества

нитрат и его органические производные



Кинетика взаимодействия

«ИСТИННАЯ» КОНСТАНТА
скорости

ИСТИННАЯ
поверхность

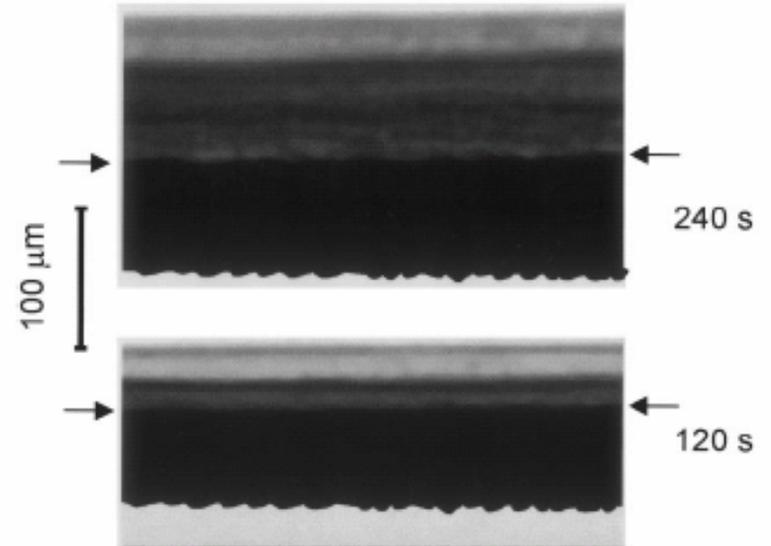
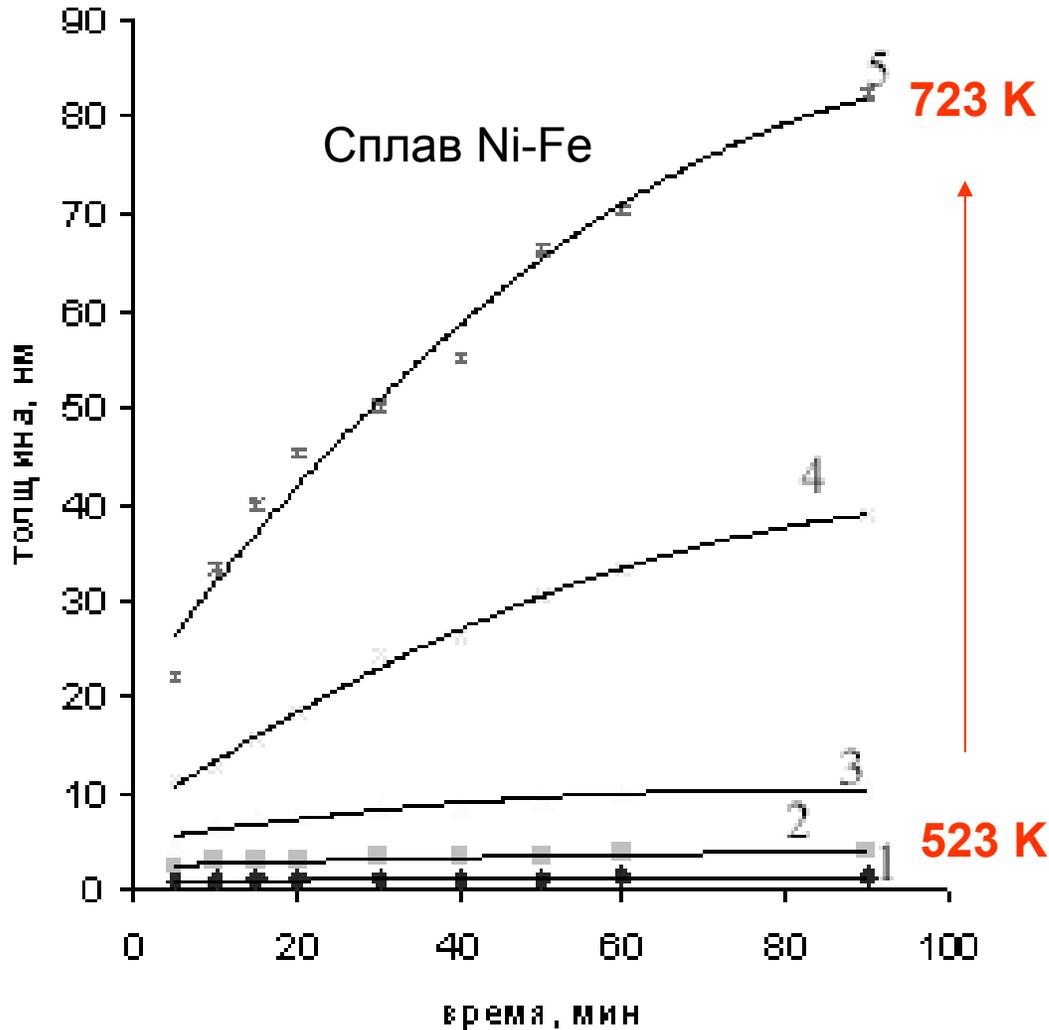
концентрация
окислителя в среде

$$-d[C_w]/dt = k_{SA} a_s \rho_m [C_w] = k_{SA} \rho_a [C_w] = k_{obs} [C_w]$$

наблюдаемая константа
скорости

d_{AV} (nm)	k_{obs}^b (h ⁻¹)	$k_{SA} \times 10^{-2b}$ (L m ⁻² h ⁻¹)
7	1.644 ± 0.174	24.90 ± 2.64
10	2.046 ± 0.132	22.49 ± 1.45
18	0.342 ± 0.042	4.57 ± 0.57
26	0.209 ± 0.011	3.03 ± 0.16
29	0.264 ± 0.03	3.75 ± 0.42
—	0.028 ± 0.002	0.20 ± 0.02

Кинетика роста оксидной пленки



Методы контроля:

- эллипсометрия
- профилометрия
- микроскопия на поперечных срезах
- аналитические методы

Взаимодействие с влажным воздухом

Оксиды $\text{In} \rightarrow \text{In}_2\text{O}_3$

Гидроксиды



Оксогидроксиды

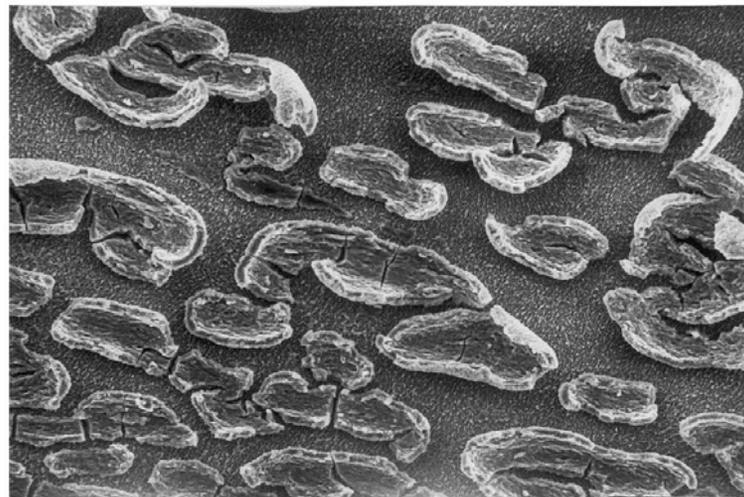
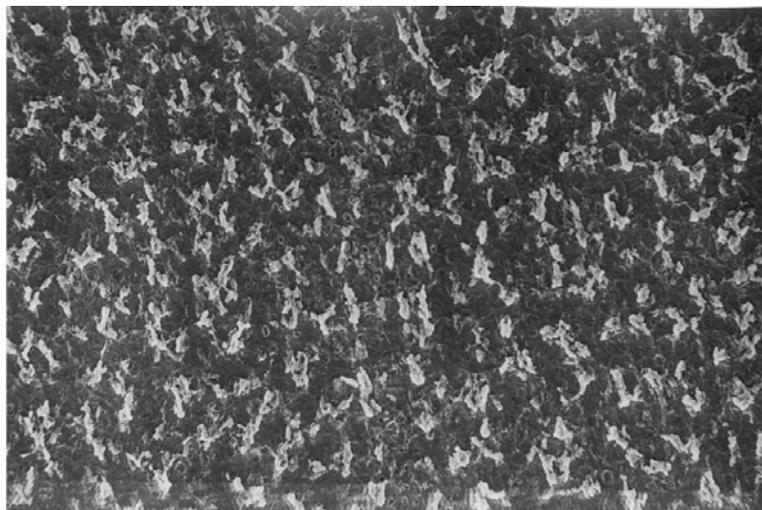


Оксокарбонаты

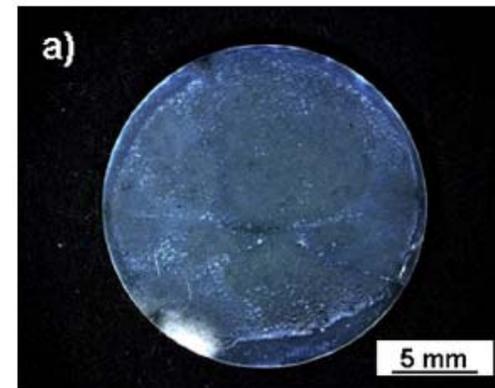
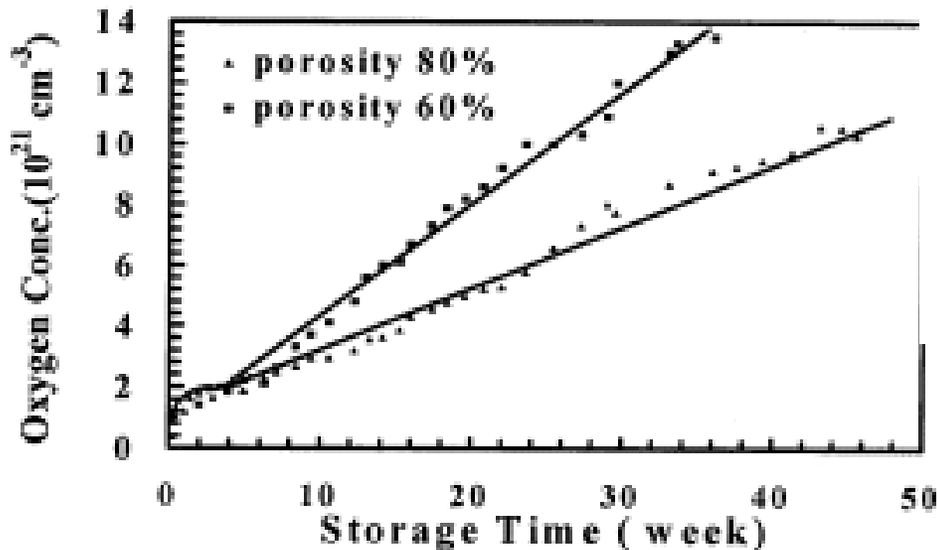
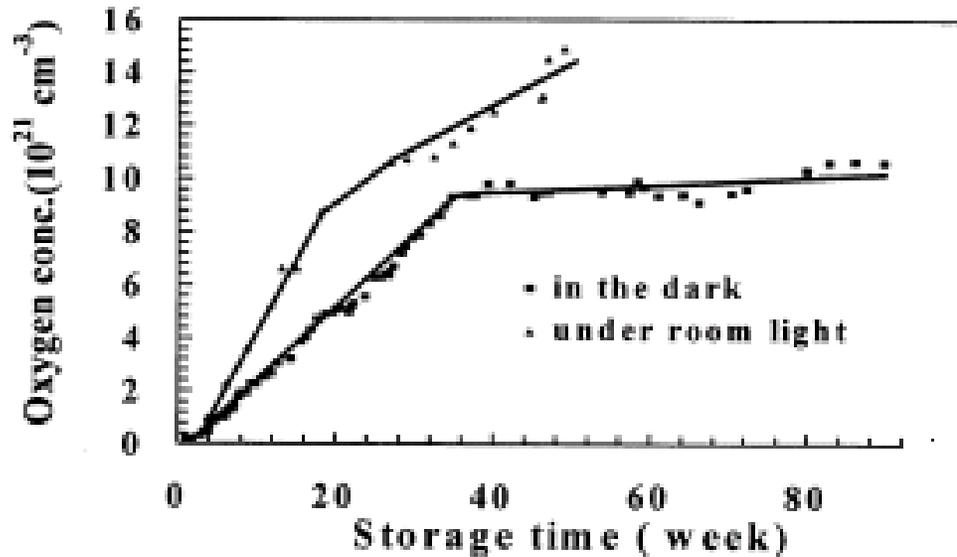
Плотные «защитные» пленки:
Ti, Al, Cr (от несколько нм)



Рыхлые проницаемые пленки

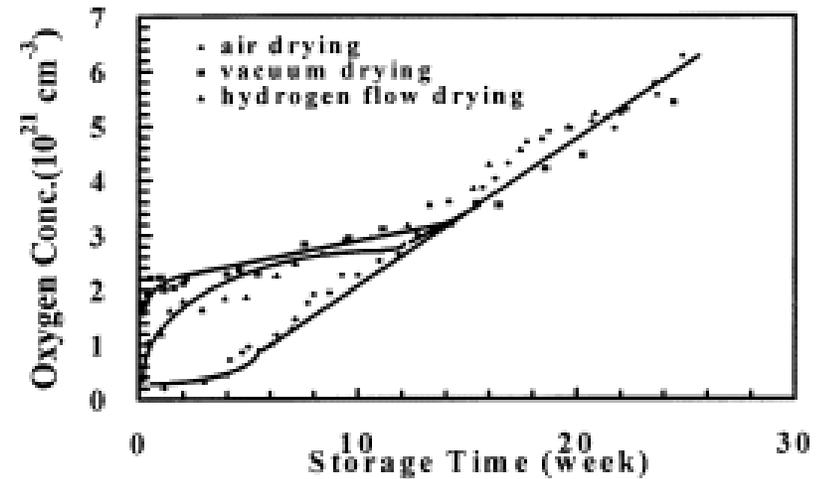


«Естественный» оксид на кремнии



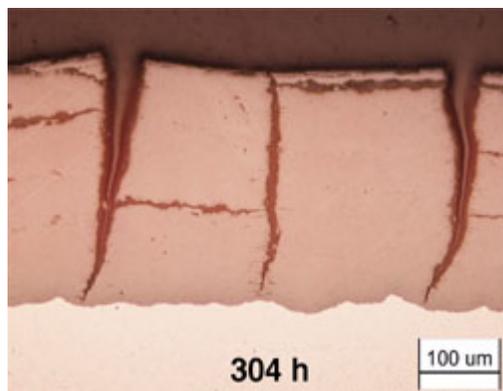
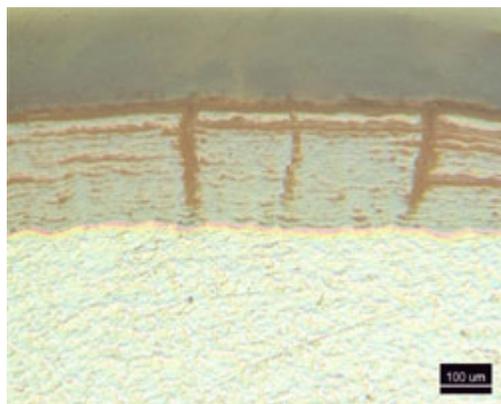
освещение

влажность

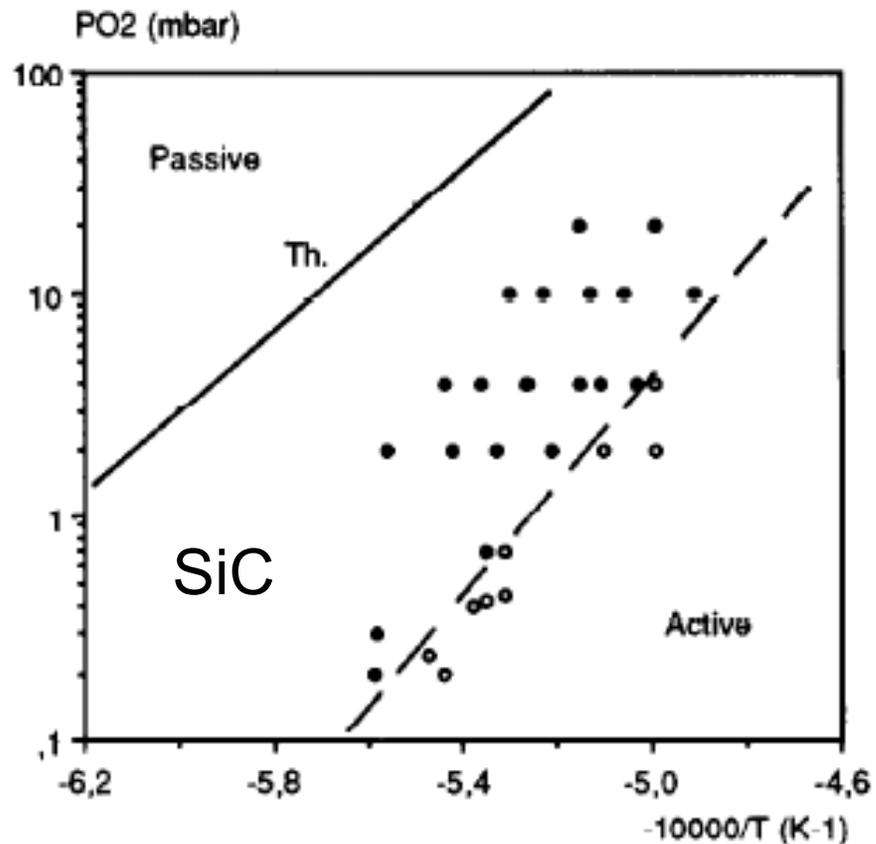


пористость

Плотные пленки больших толщин: растрескивание



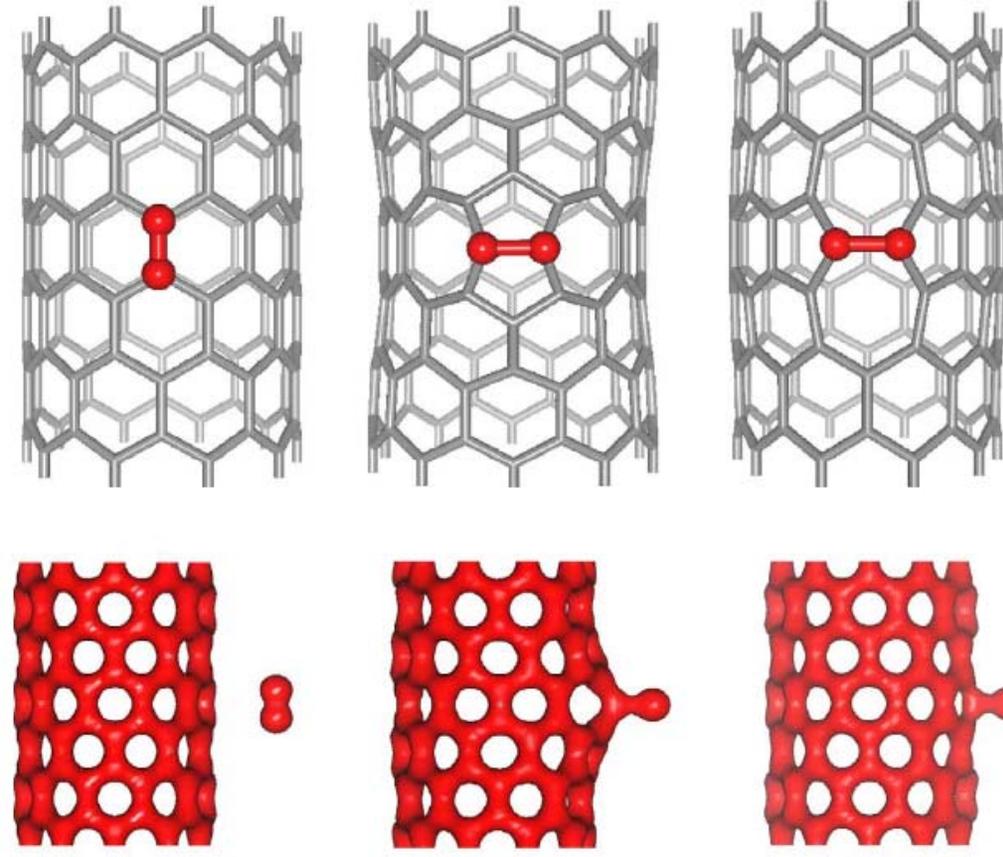
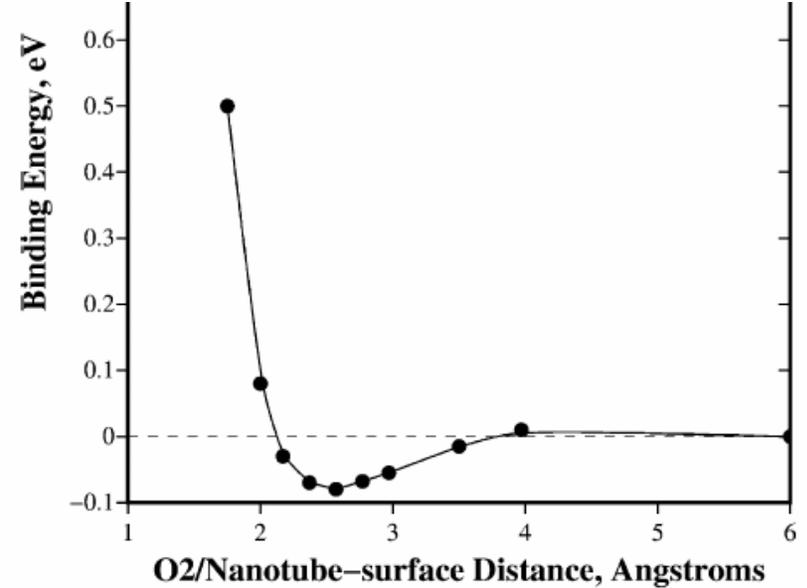
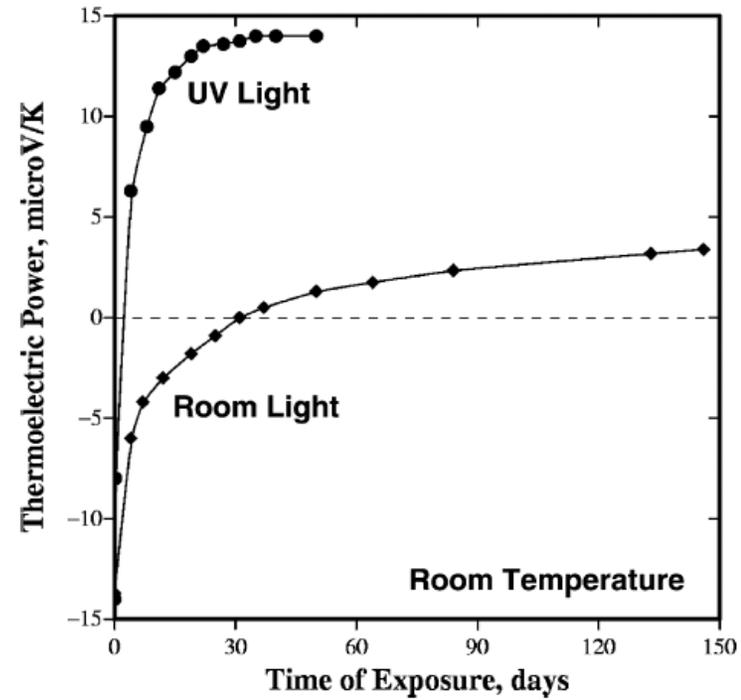
Оксидные пленки на бинарных полупроводниках: регулирование свойств условиями окисления



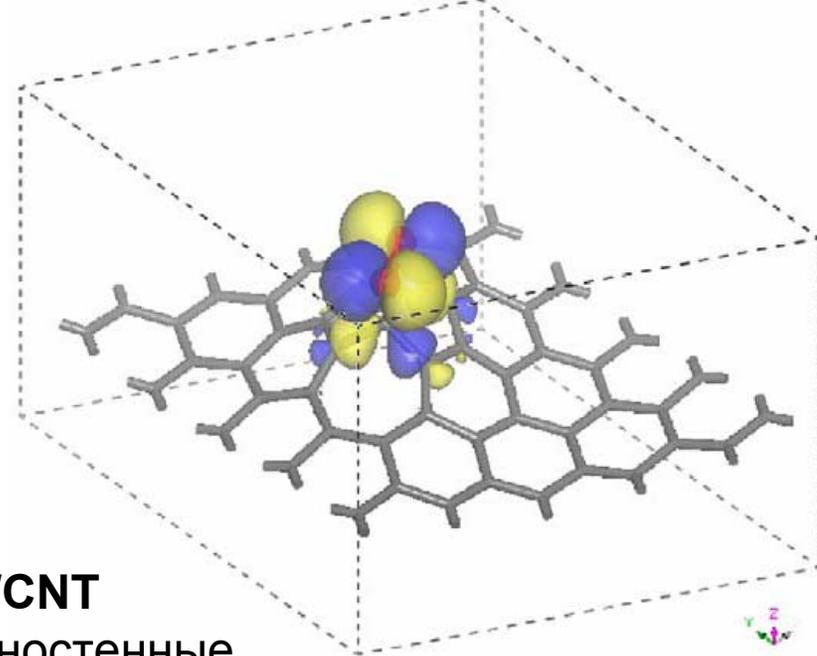
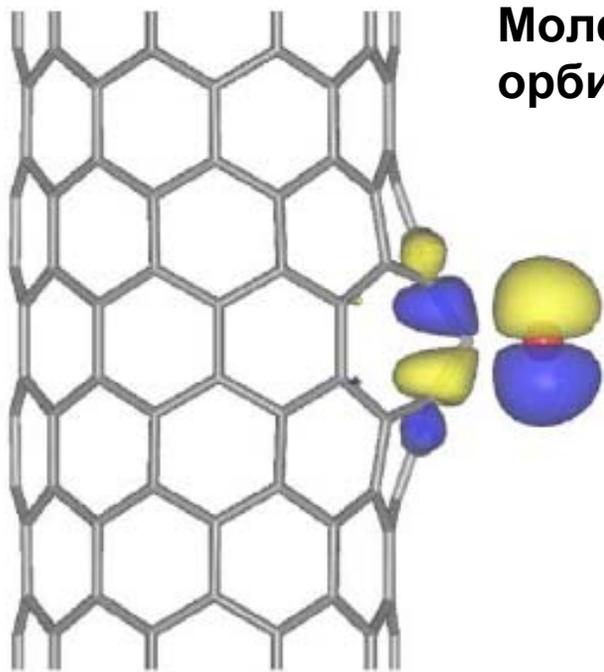
Окисление углеродных нанотрубок

При выдержке на воздухе появляются металлические свойства

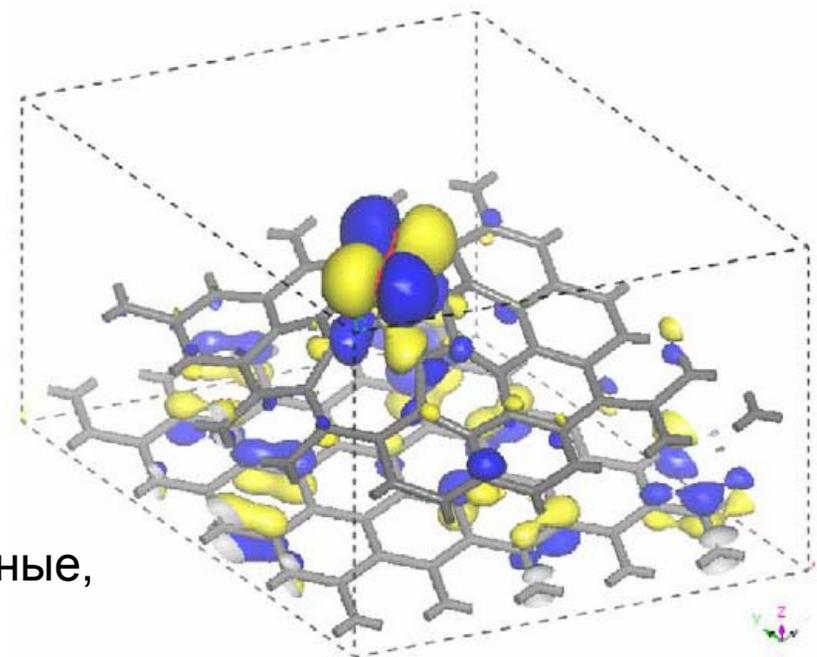
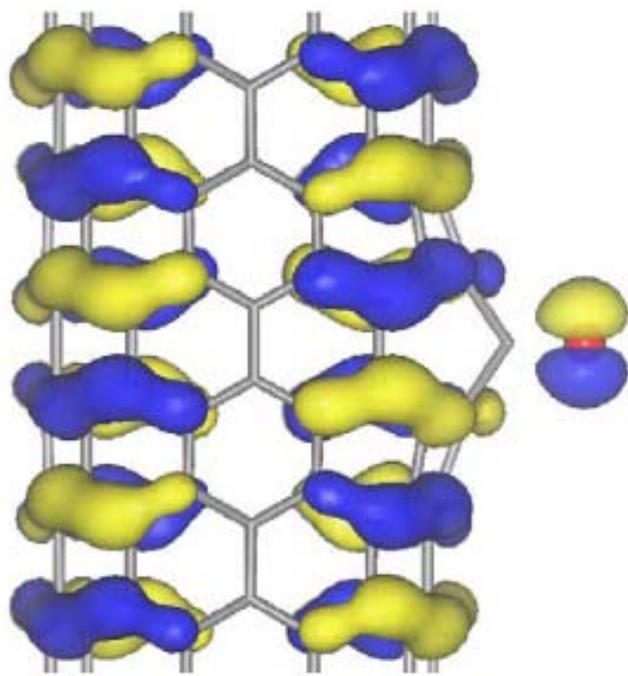
Эффект зависит от освещения →



Молекулярные орбитали

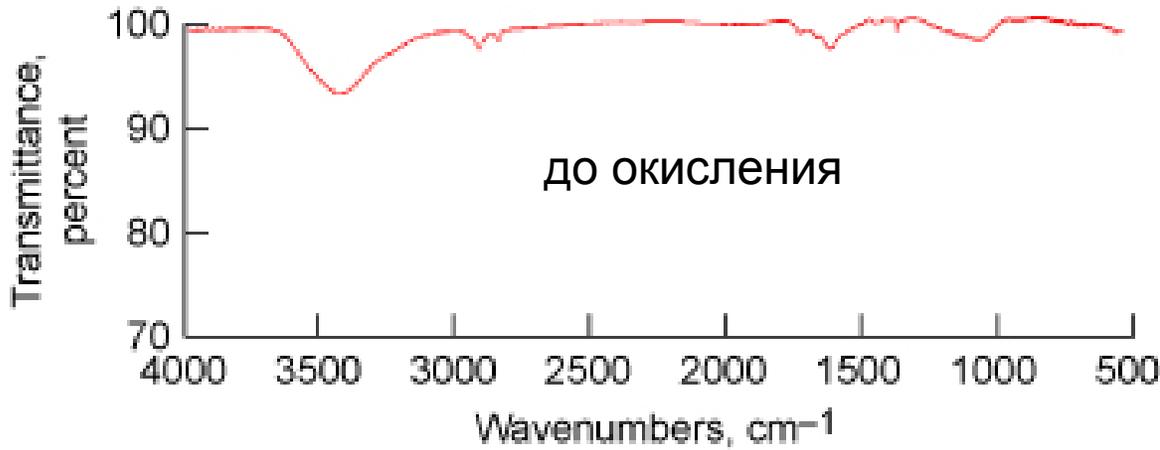
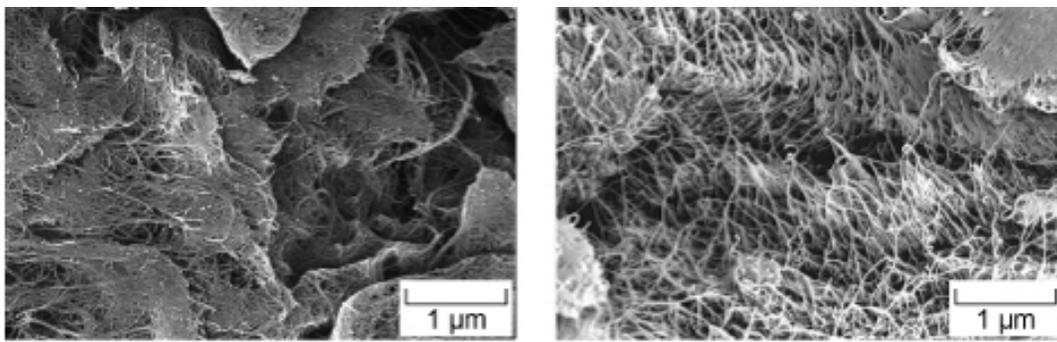


SWCNT
(одностенные,
single wall)



MWCNT
(многостенные,
multi-wall)

Обратимое фотоокисление



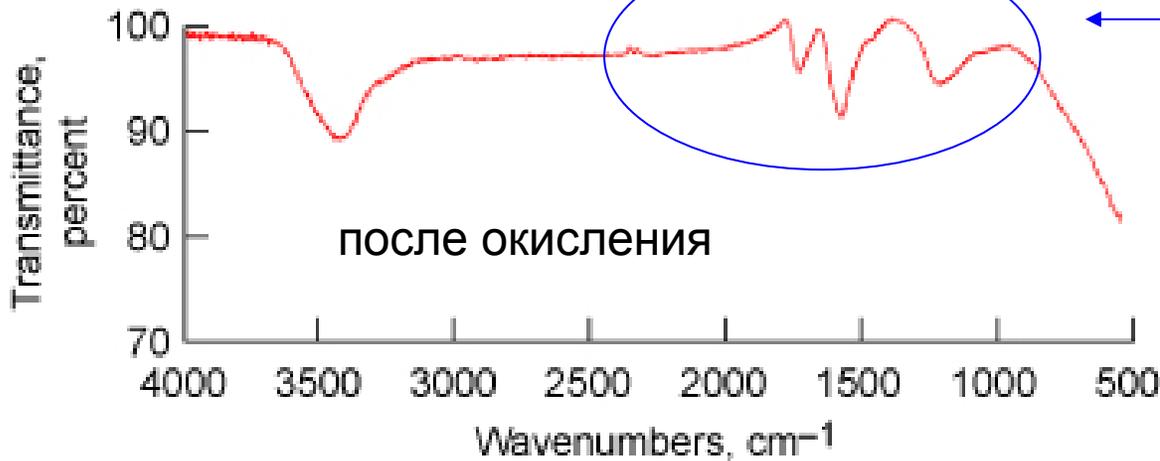
FTIR (ИК-спектроскопия с Фурье-преобразованием)

Функциональные группы:

—COOH

—C=O

—C—O—C—



Glenn Research Ctr Rep
2006

Оствальдовское созревание (Ostwald ripening)

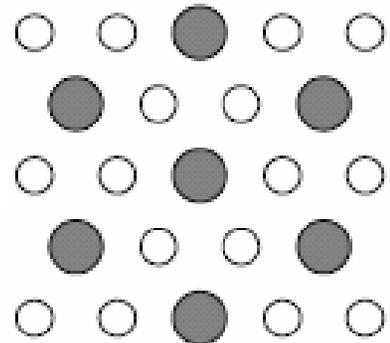
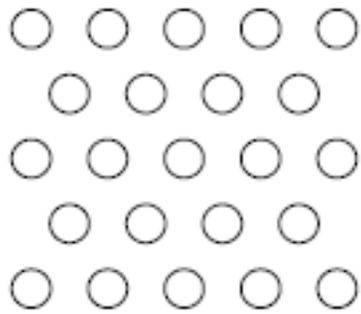
неравновесные
наноразмерные
фрагменты



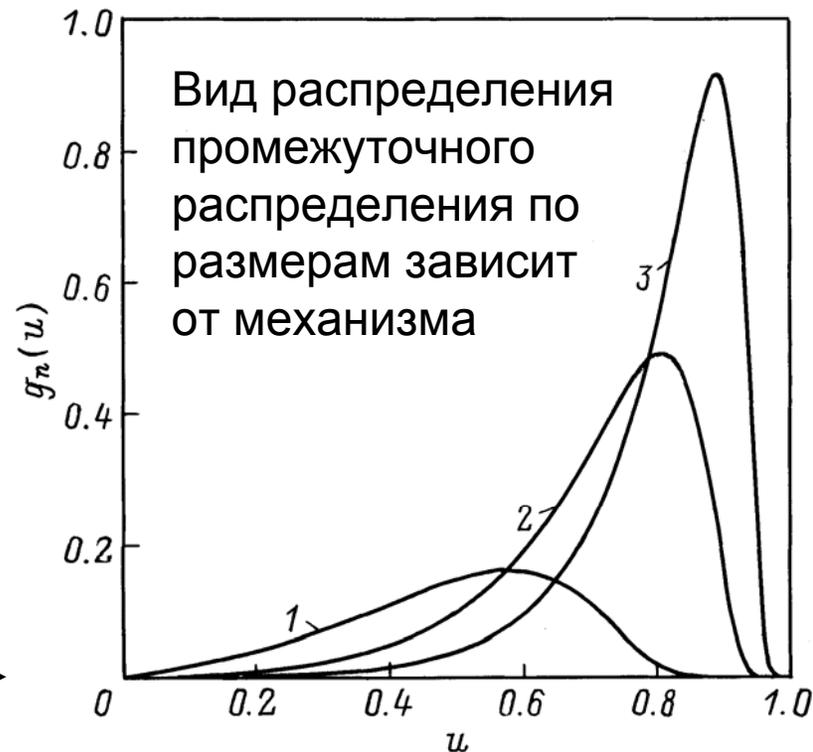
- поверхностная диффузия
- дислокационная диффузия
- миграция кластеров
- растворение-осаждение



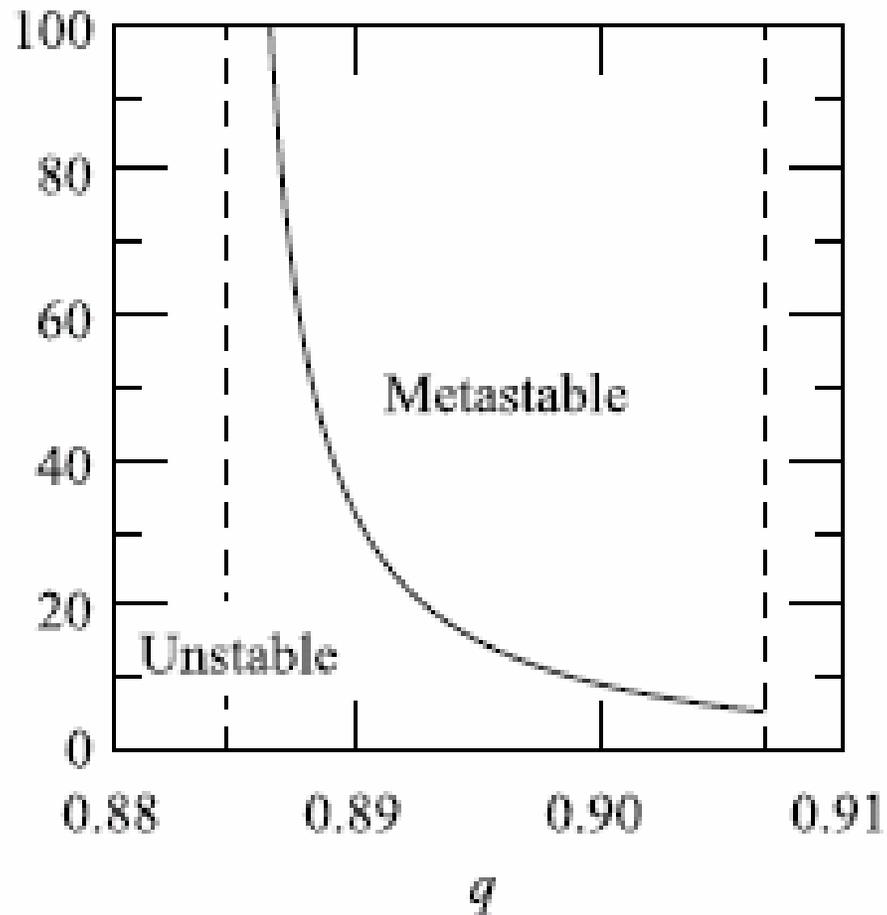
равновесная
конфигурация



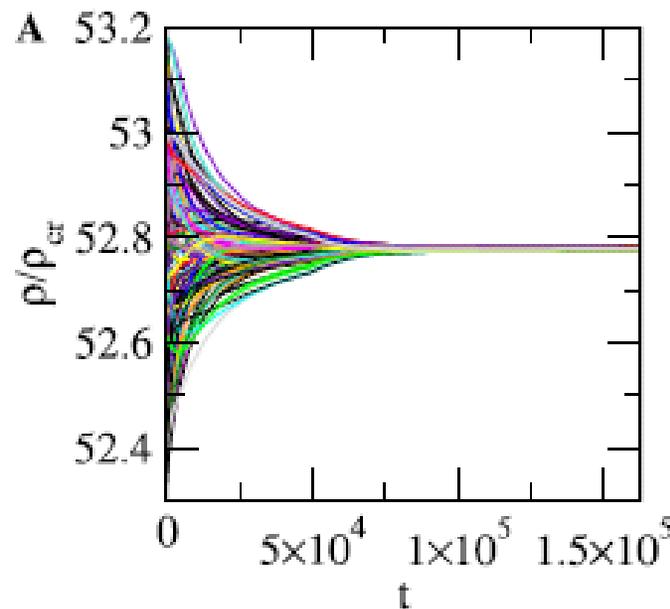
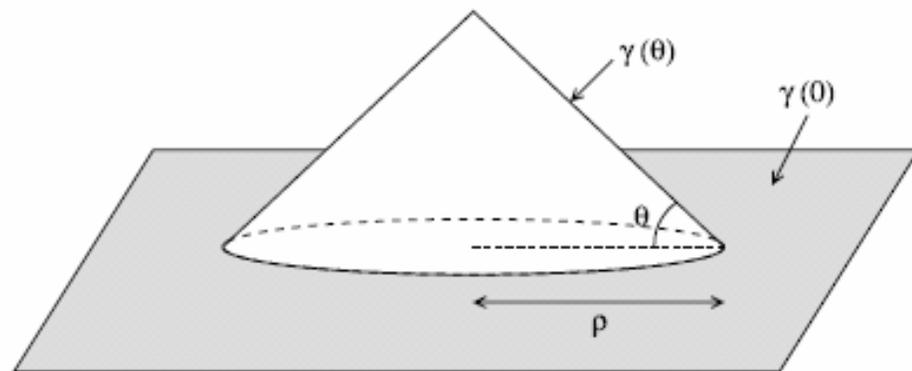
Физ Техн Полупроводников
35 (2001) 1440



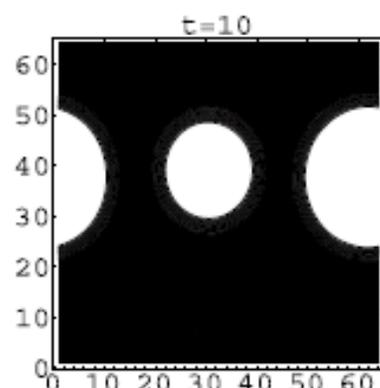
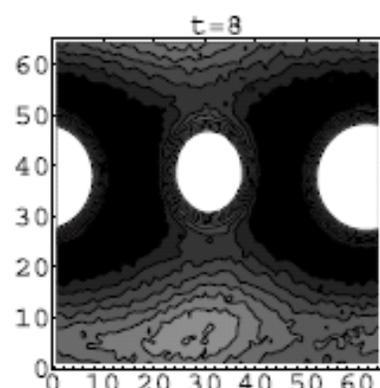
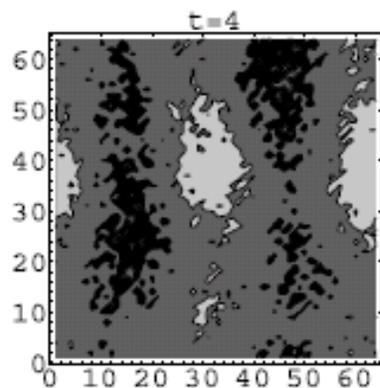
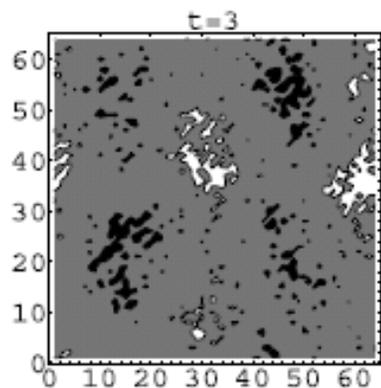
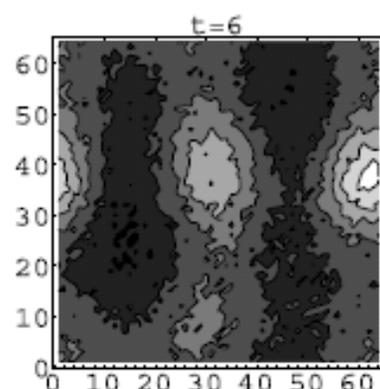
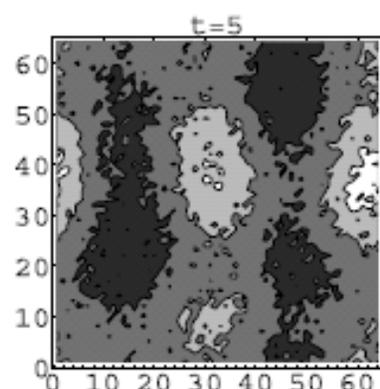
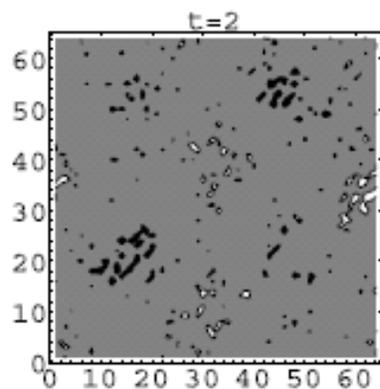
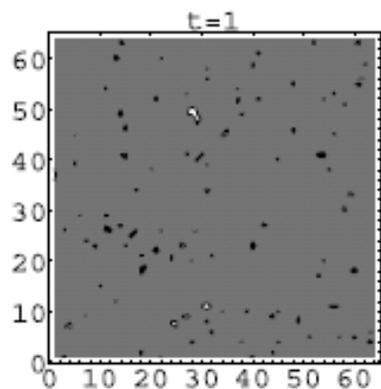
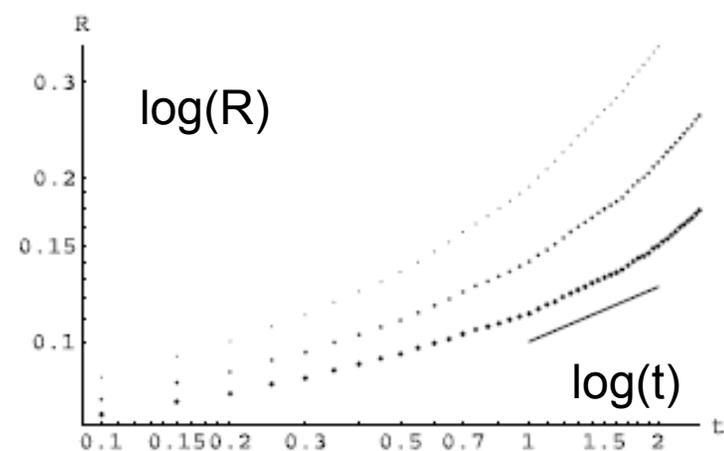
Самоорганизация ансамблей наноразмерных фргментов



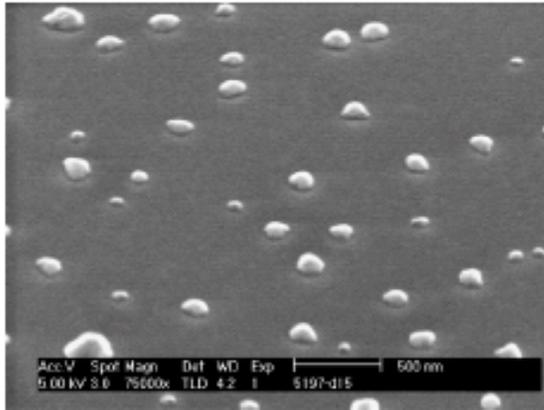
Заполнение поверхности



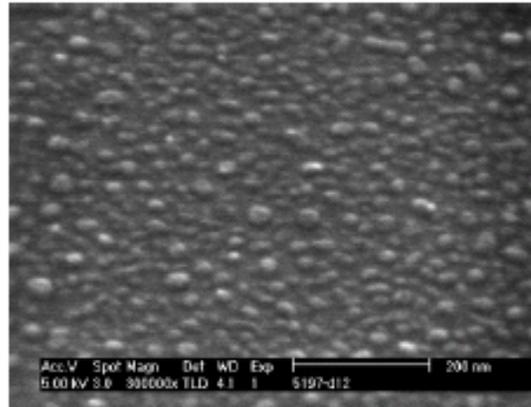
Численное моделирование динамики малых частиц



Роль «смачивания» (поверхностного натяжения)



вакуум

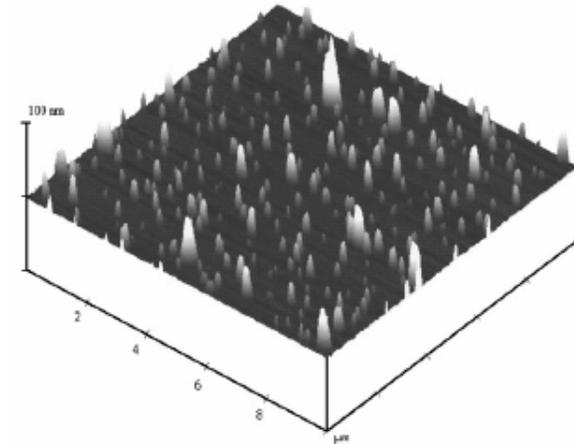


воздух → аргон

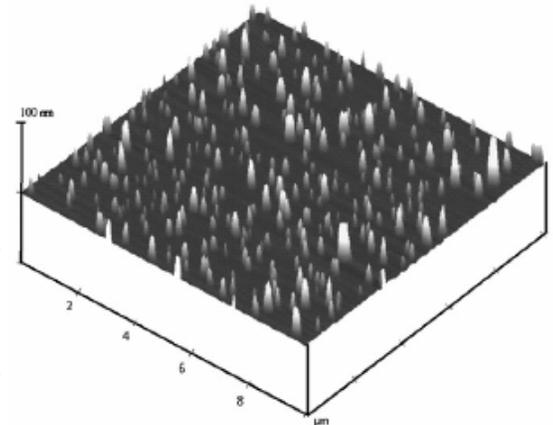
Сu на Та, 450 С

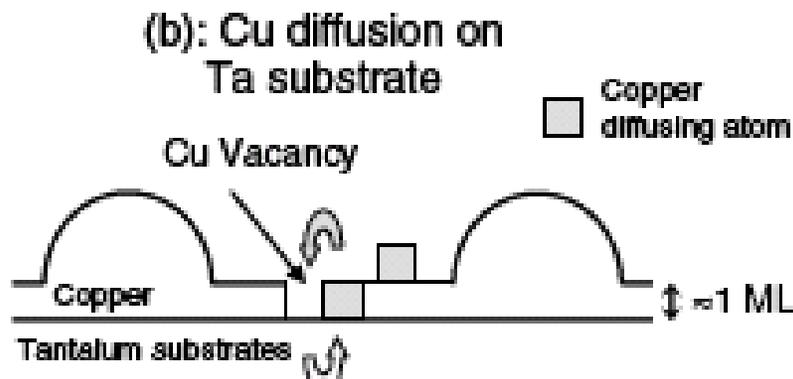
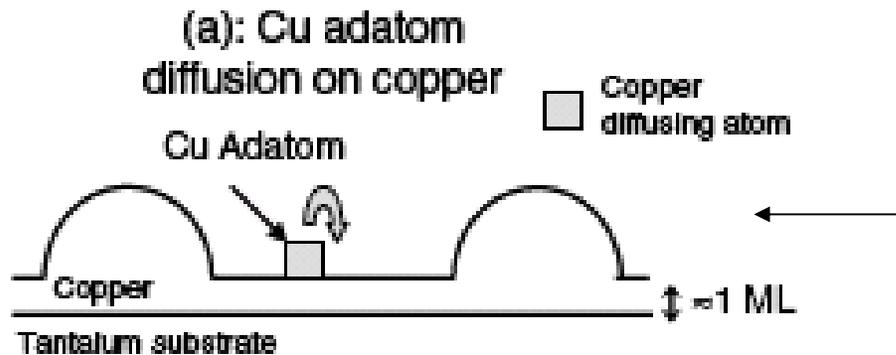
Average radius obtained from AFM and SEM measurements for the Cu/ β -Ta stack annealed at 550 °C for annealing times of 280 s, 1029 s and 2028 s

Anneal at 500 °C during	Average radius by	
	AFM (nm)	SEM (nm)
280 s	76.8	68.3
1029 s	79.7	70.1
2028 s	88.0	79.5



AFM



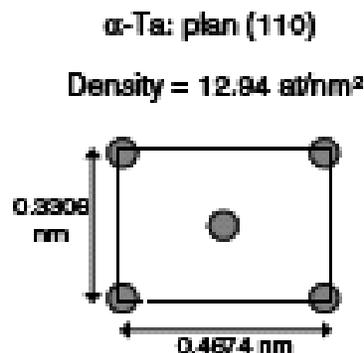


Коэффициент поверхностной диффузии меди зависит от:

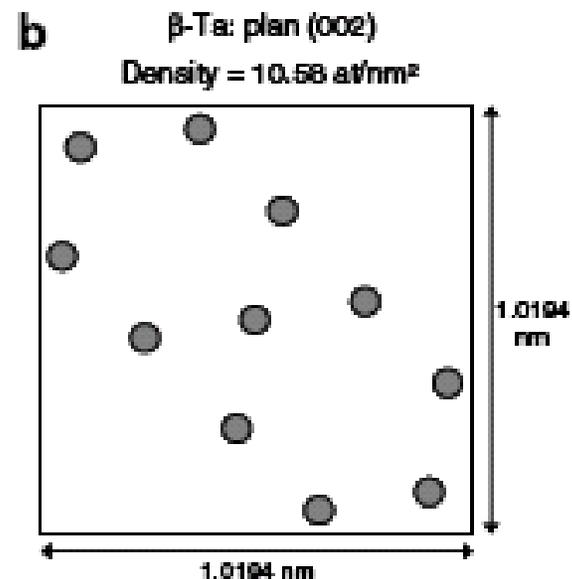
- дефектности подслоя

- кристаллографической ориентации подложки

a



b



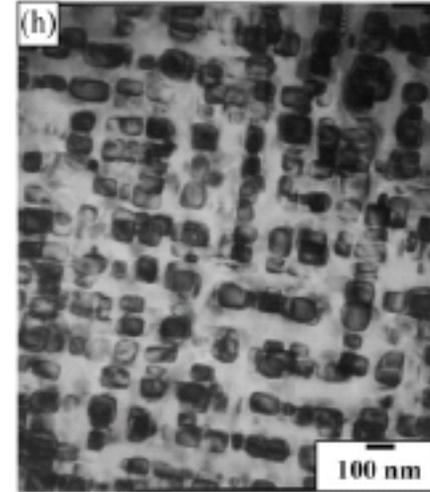
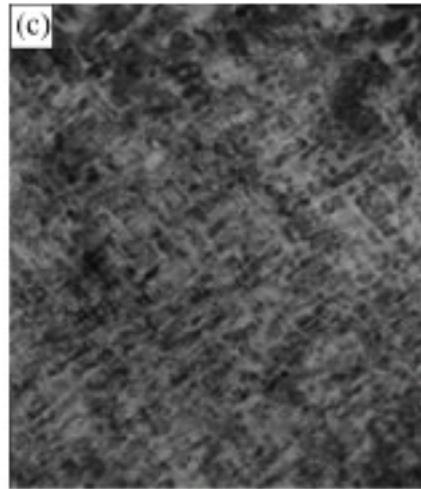
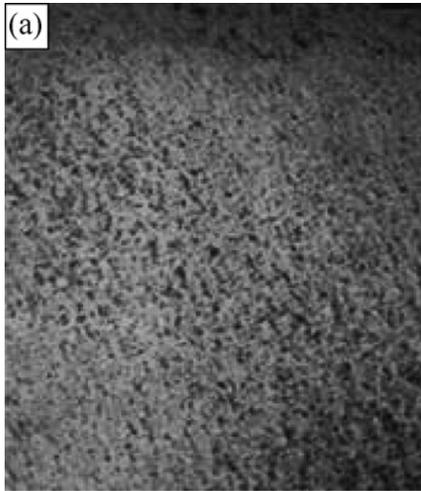
$10^{-4} - 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{c}$

(Cu на Cu)

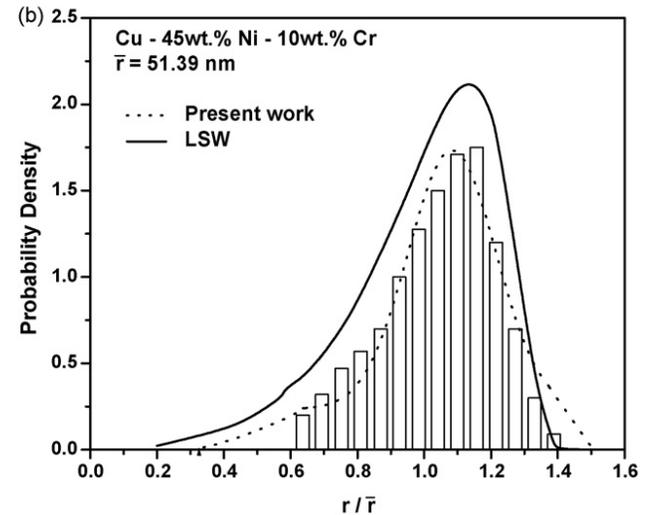
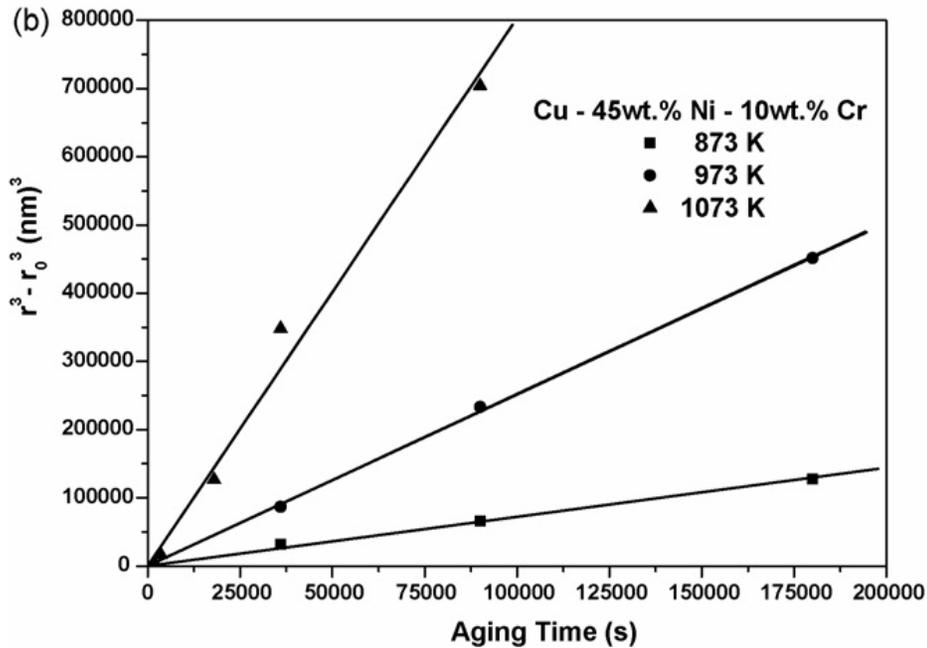
$10^{-11} - 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{c}$

(Cu на Ta)

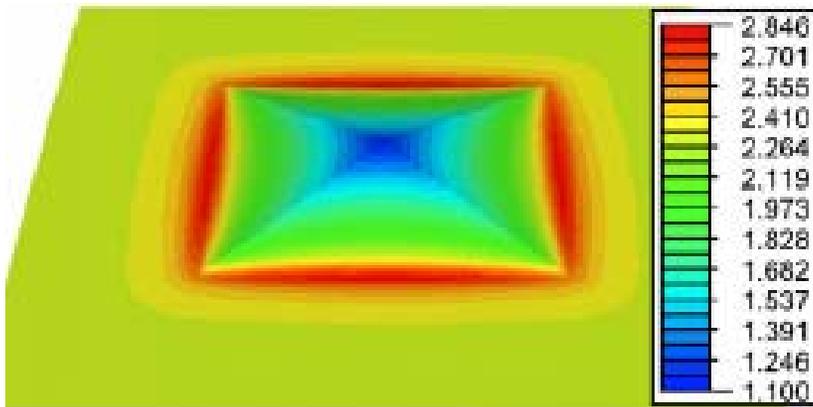
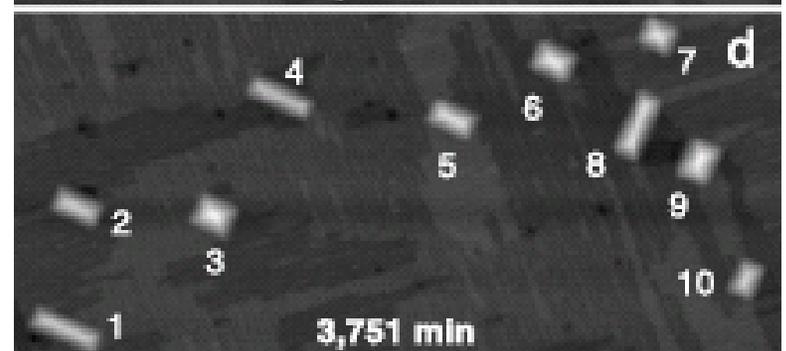
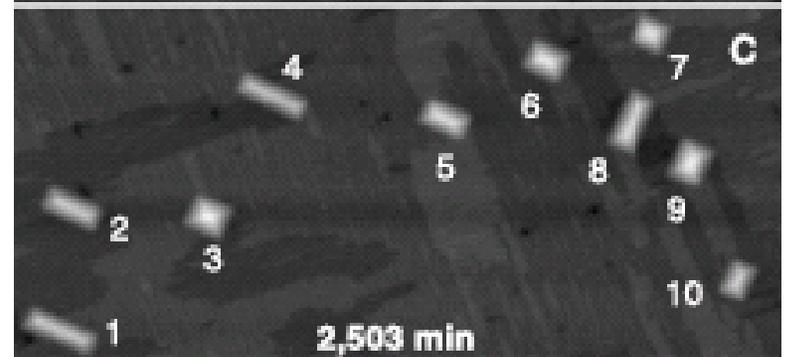
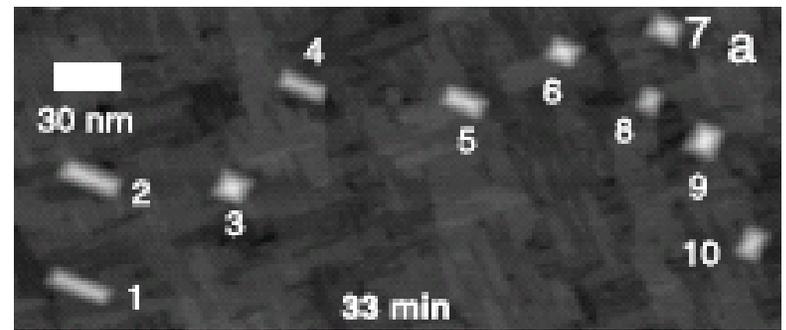
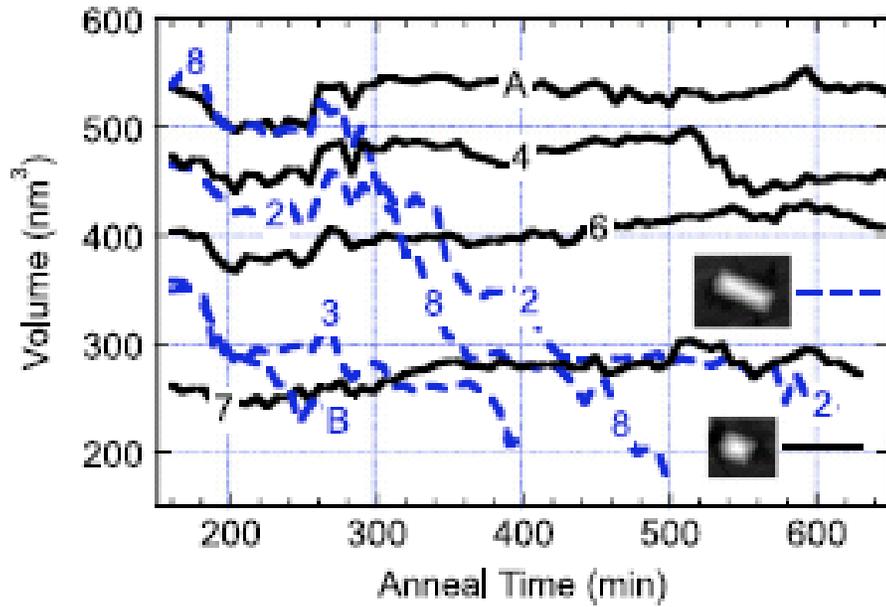
Оствальдовское созревание в металлургических сплавах

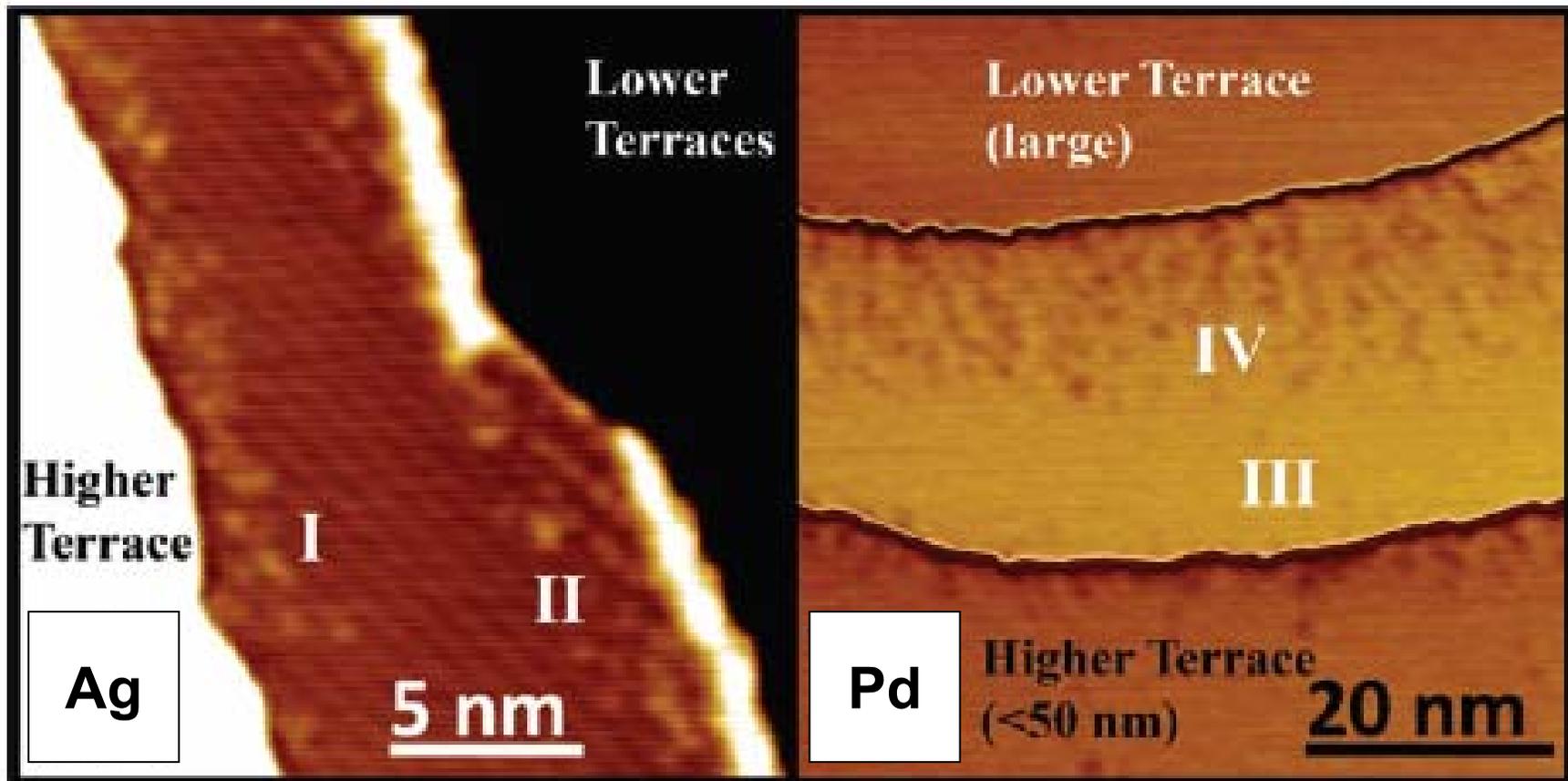


время →



Пирамидальный германий на Si(100)





Напыление адатомов на грань монокристалла Cu



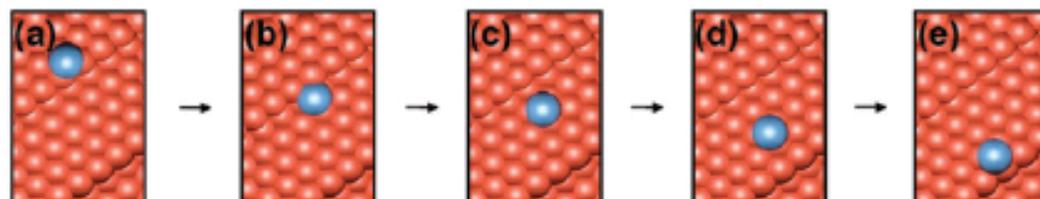
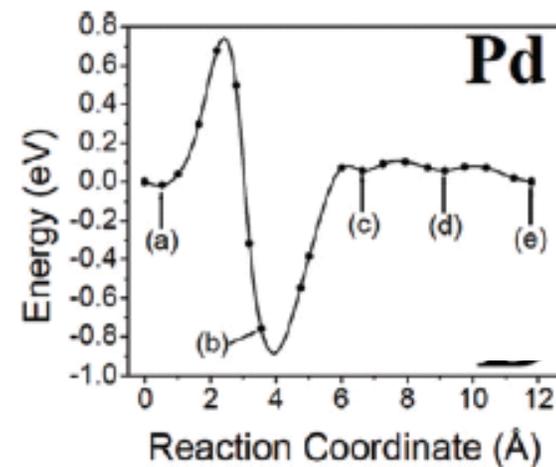
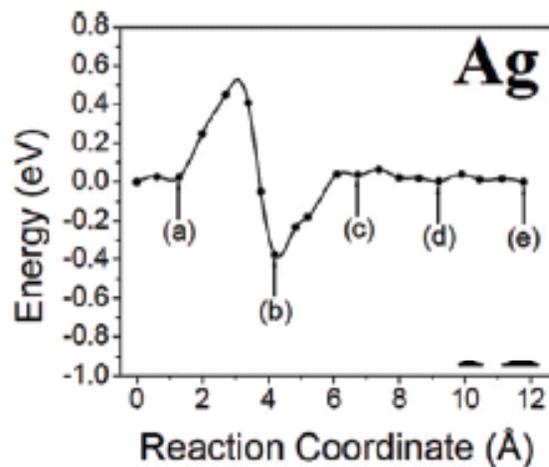
«расползание» по
террасам



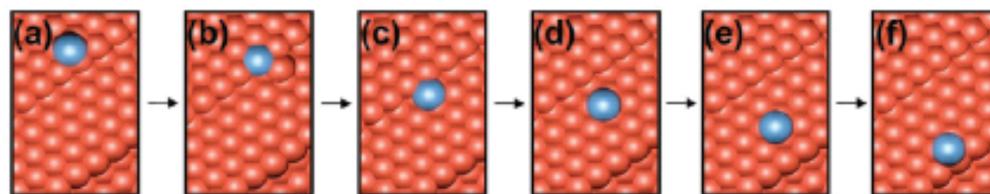
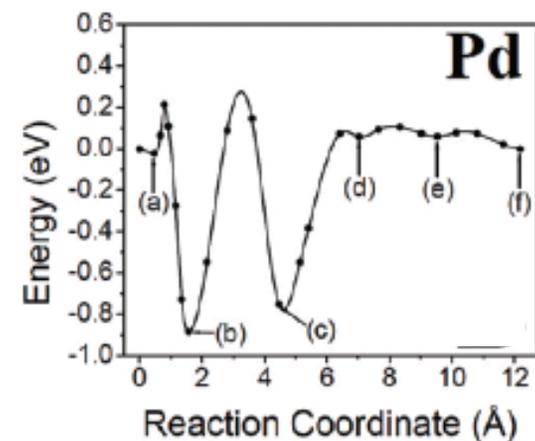
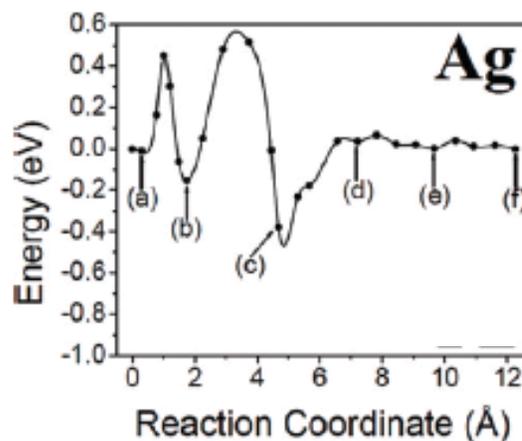
преимущественное
сплавообразование
около ступеней

Механизмы движения атомов

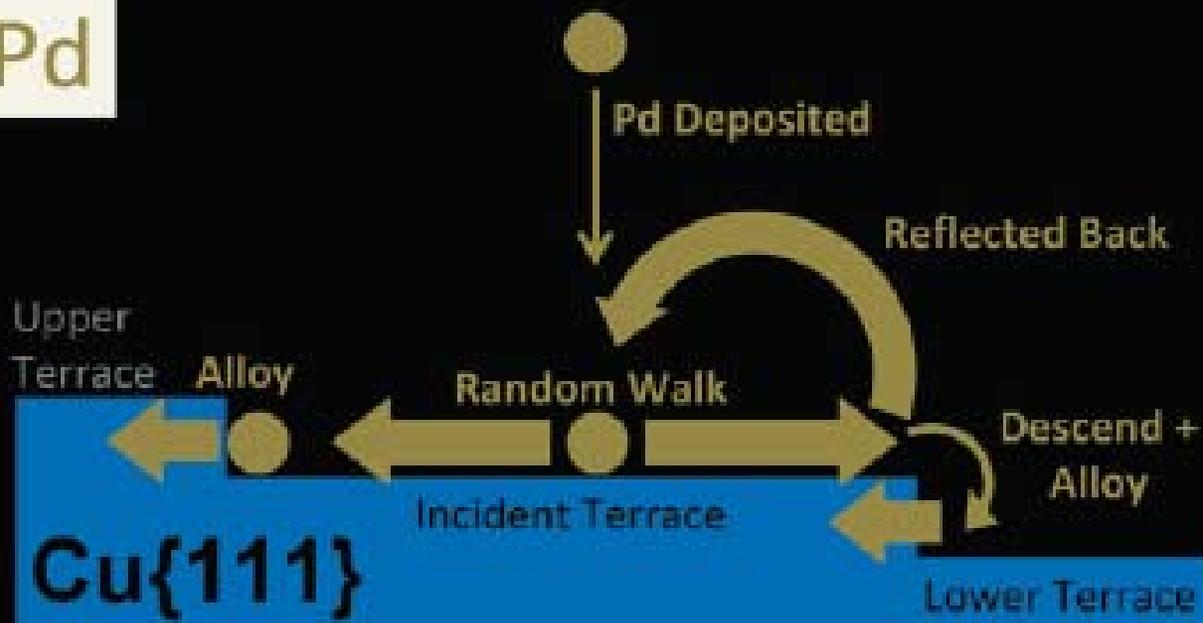
прыжковый
(hopping)



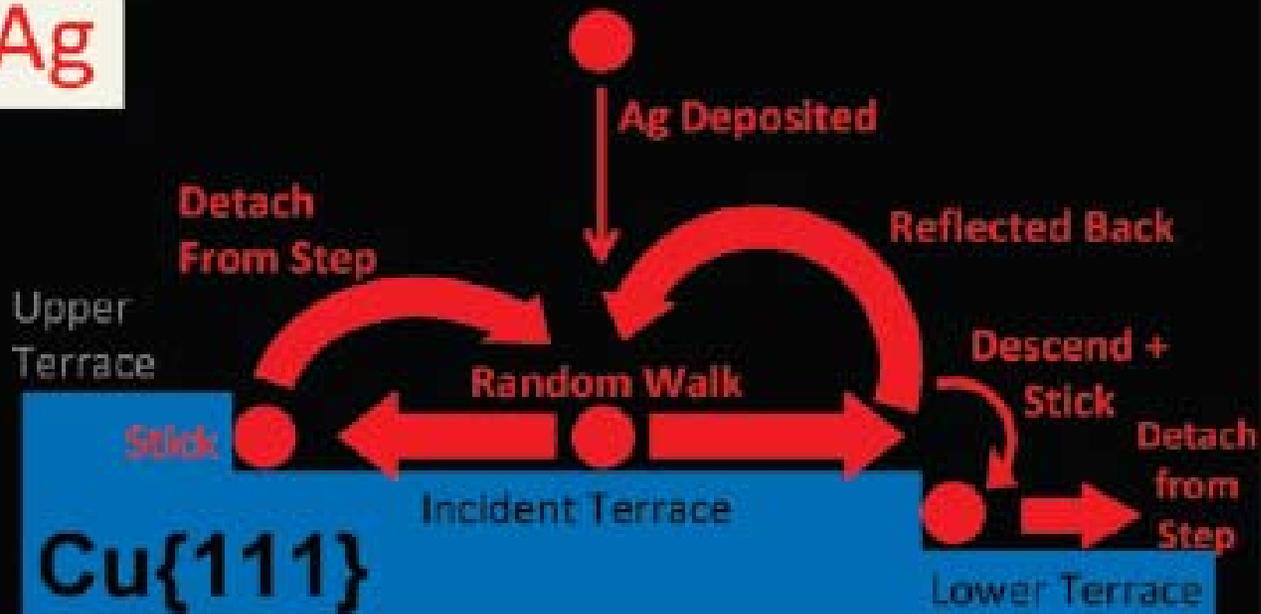
обменный
(exchange)



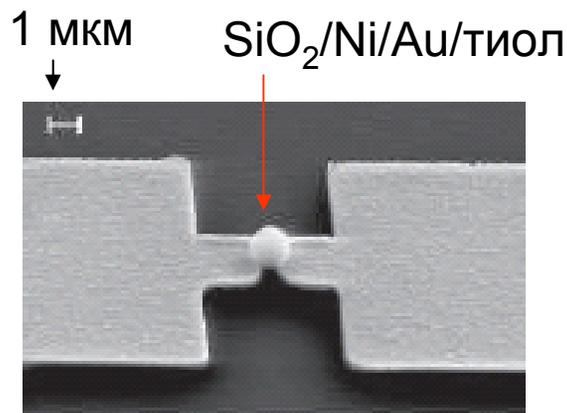
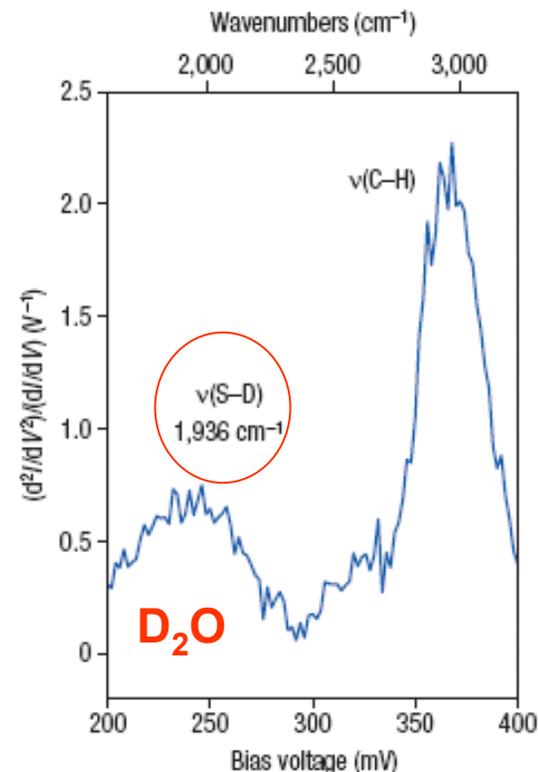
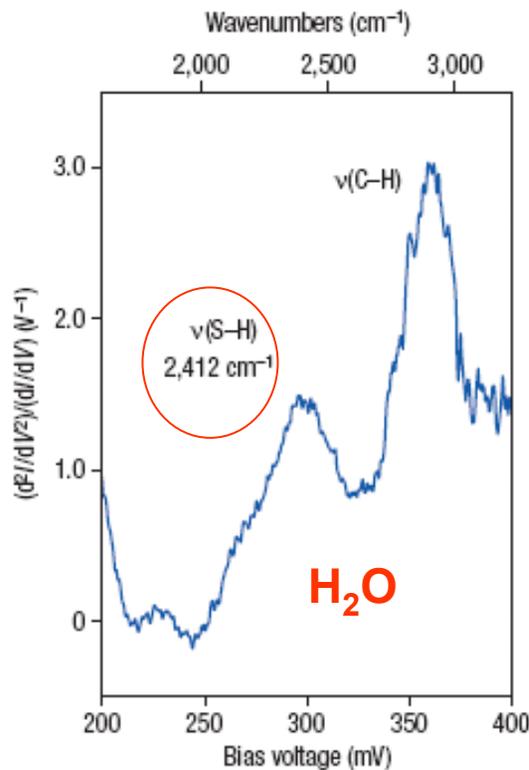
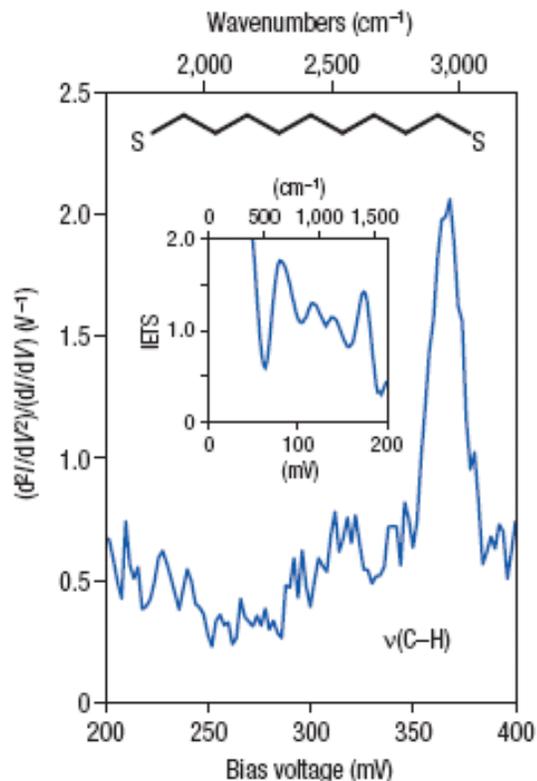
Pd



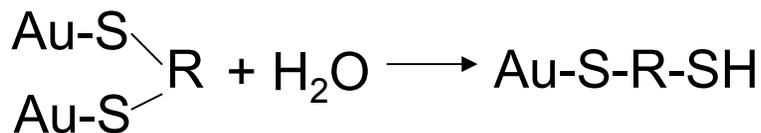
Ag



Дифференциальная молекулярная проводимость – влияние влажности



Доказательство – изотопный сдвиг



гидролиз