

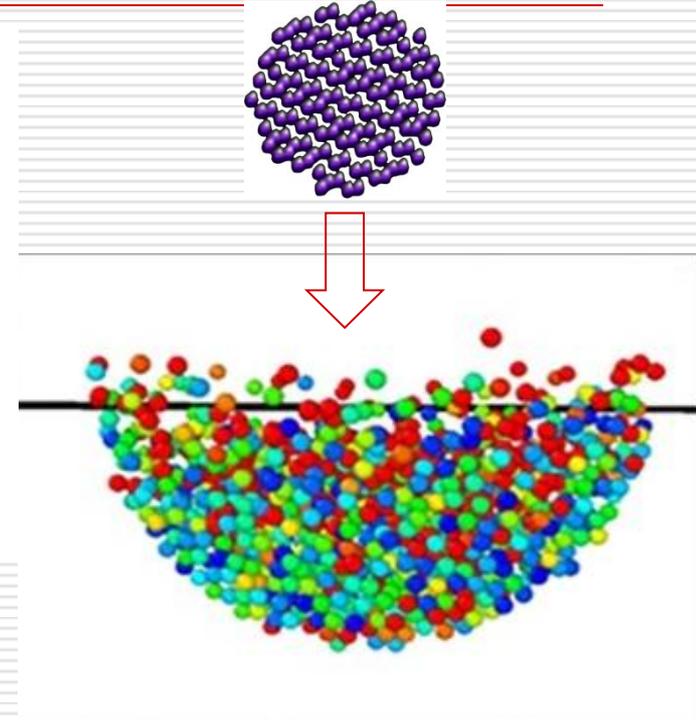
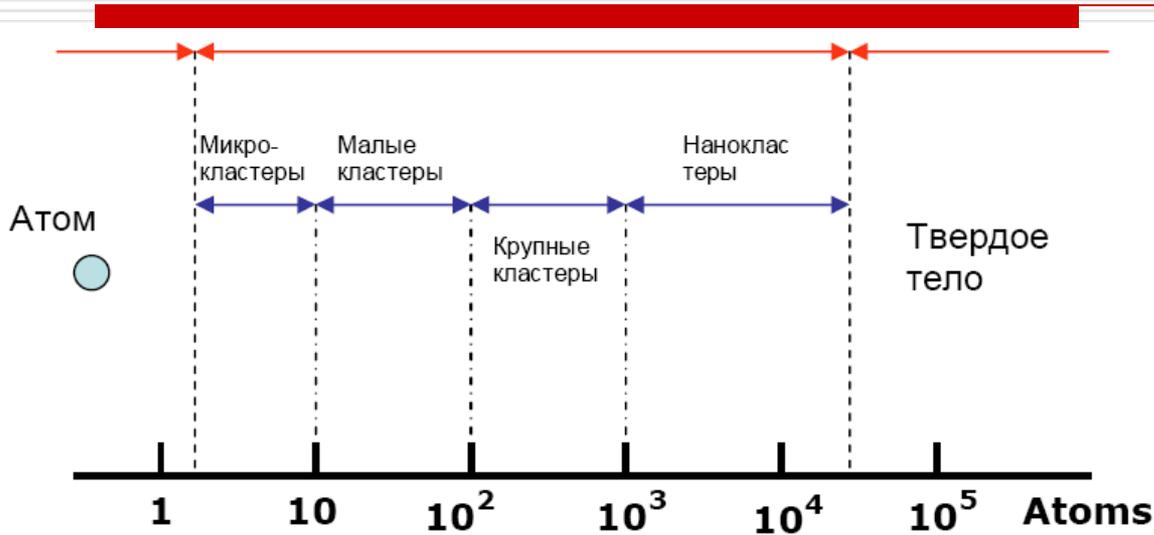
МГУ имени М.В. Ломоносова,  
Физический факультет

# **Эволюция нанорельефа поверхности при наклонной кластерной бомбардировке**

---

Д.С. Киреев, М.О. Рябцев, А.Е. Иешкин, В.С. Черныш

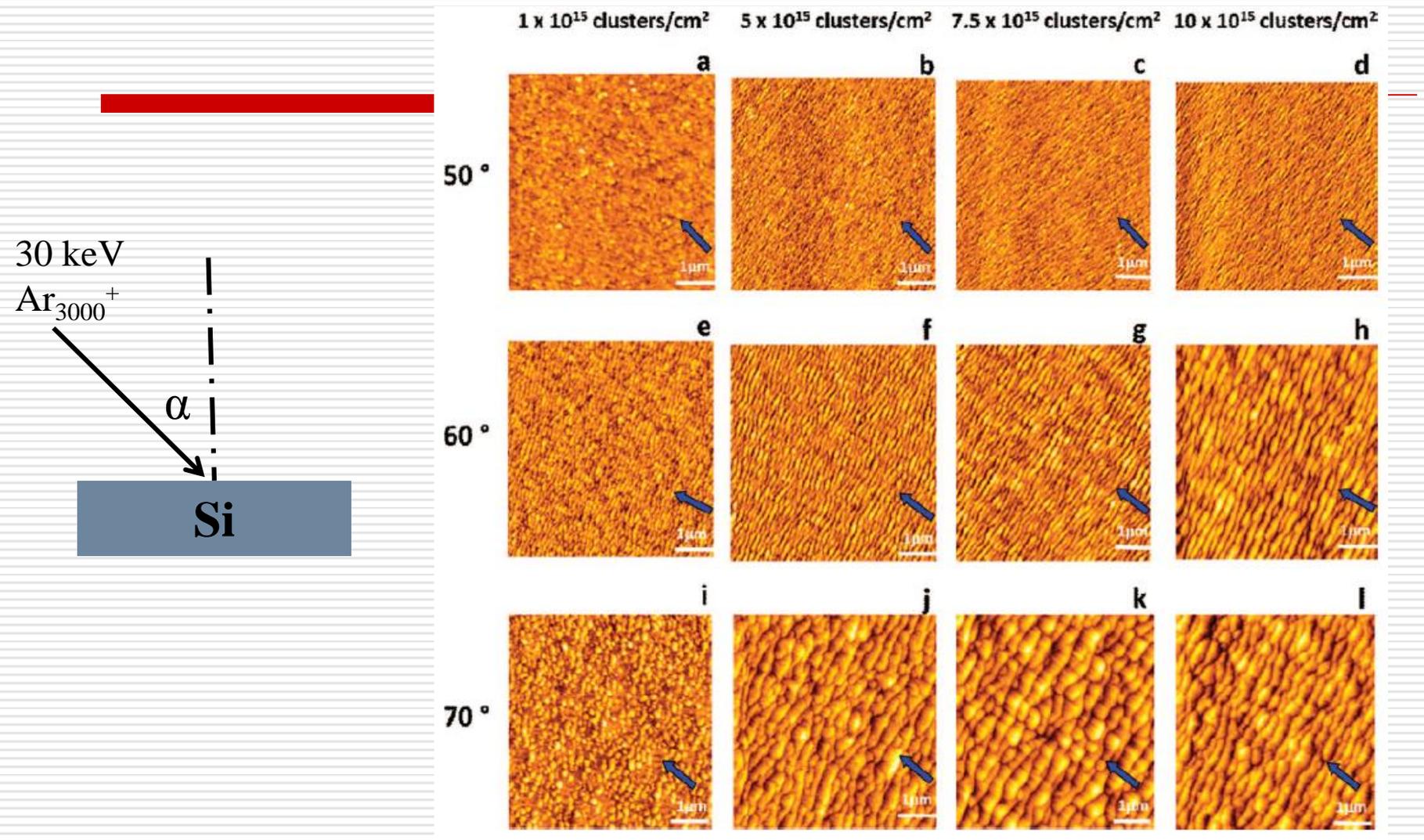
# Газовые кластерные ионы



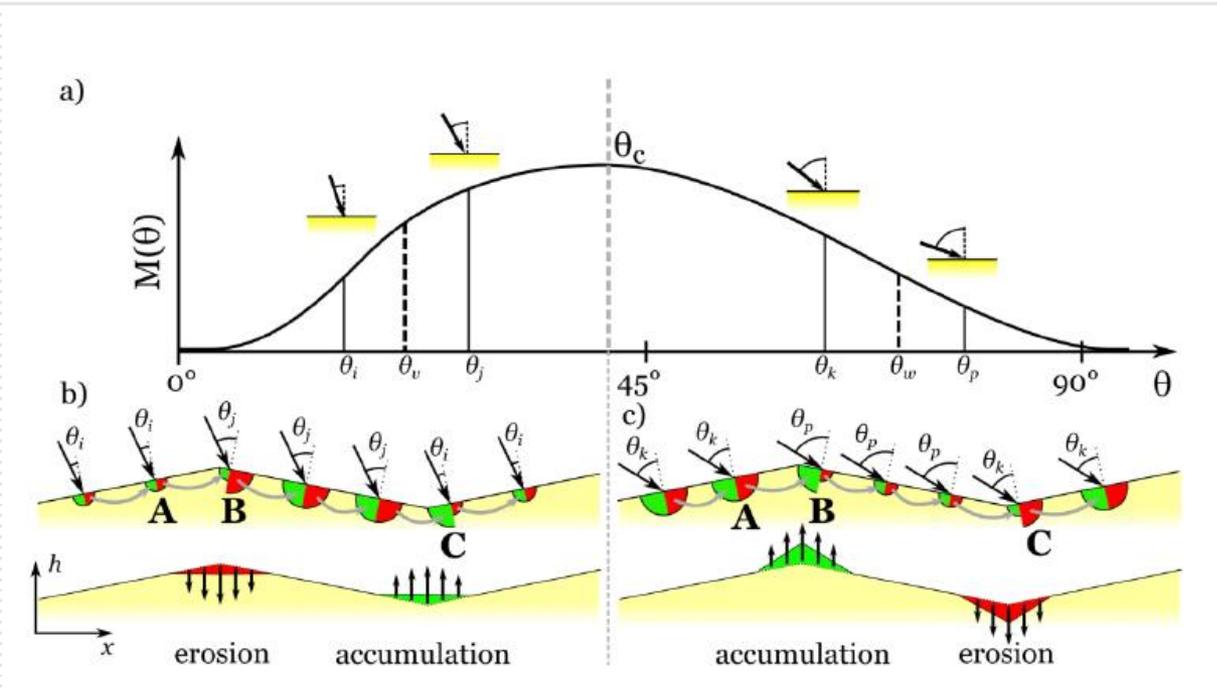
## □ Применение:

- полировка/очистка поверхности
- формирование упорядоченного нанорельефа
- имплантация на сверхмалые глубины
- аналитические методики (МСВИ, РФЭС)

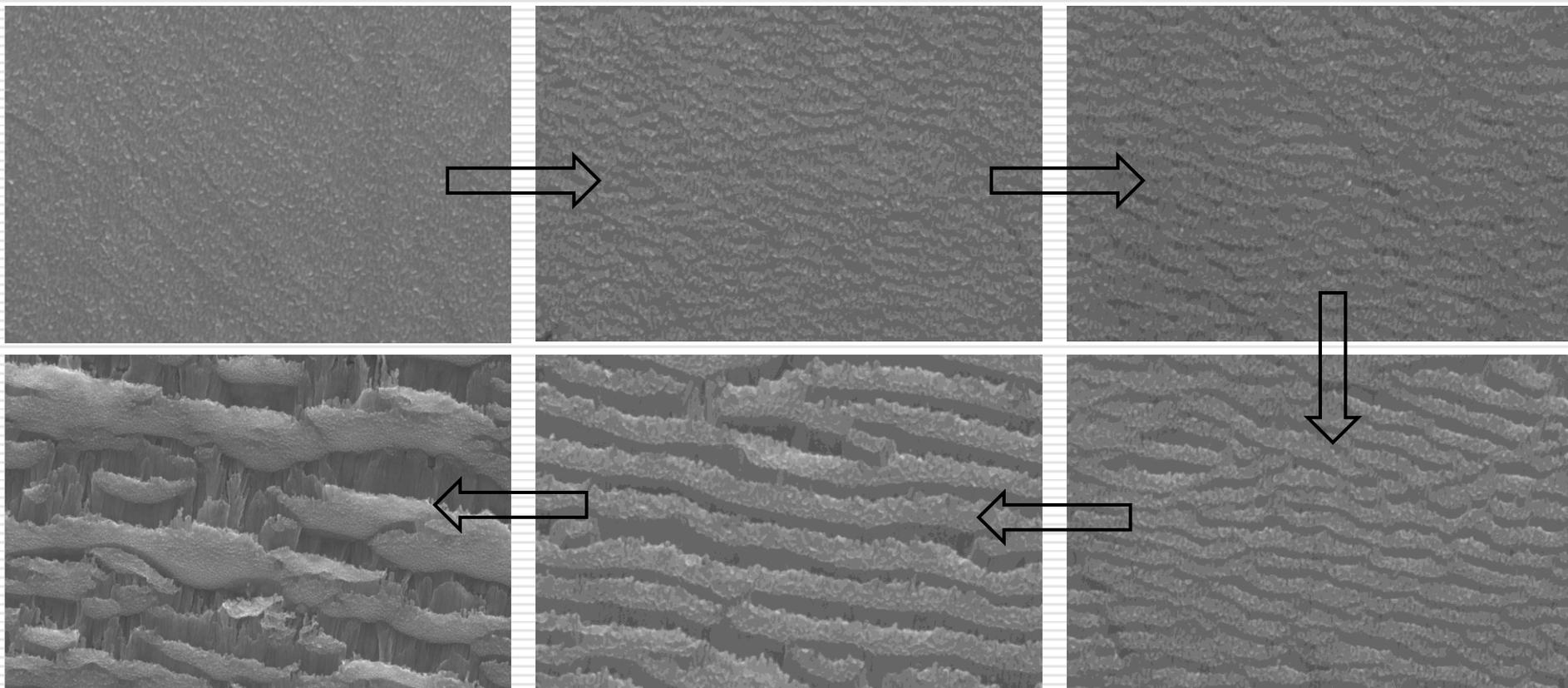
# Волновая структура на кремнии



# Формирование рипплов



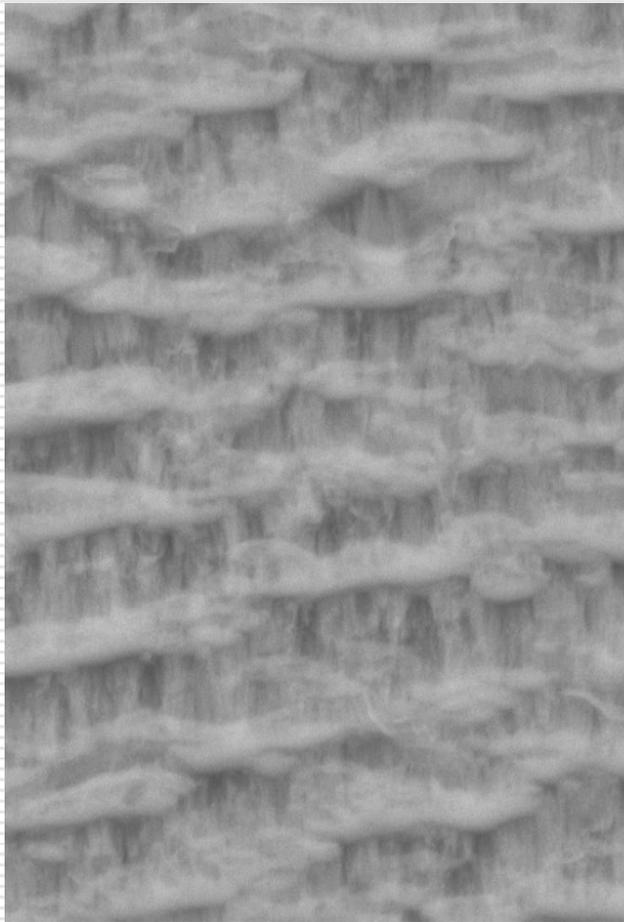
# Волны на сплавах: NiPd



20 кэВ  $\text{Ar}_{2500}^+$ ,  $\alpha=55^\circ$ , до  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>, мишень NiPd

100 nm<sup>+</sup>  
|  
└───┘

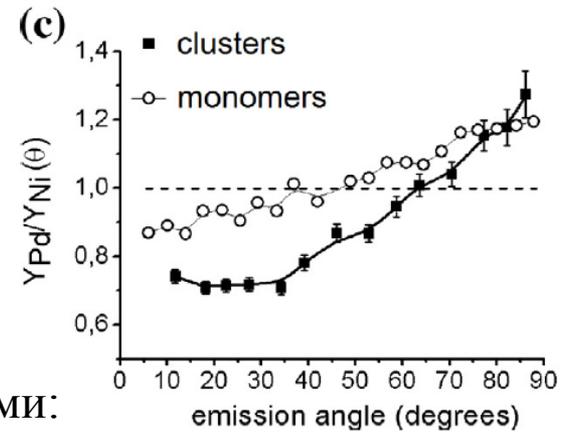
# Элементный контраст



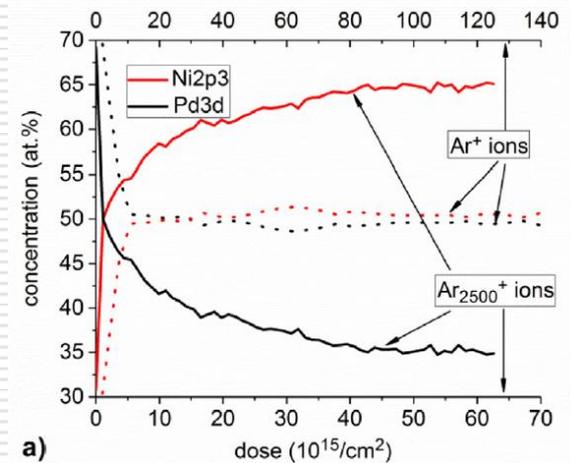
$$U_{Ni} > U_{Pd}$$

$$M_{Ni} < M_{Pd}$$

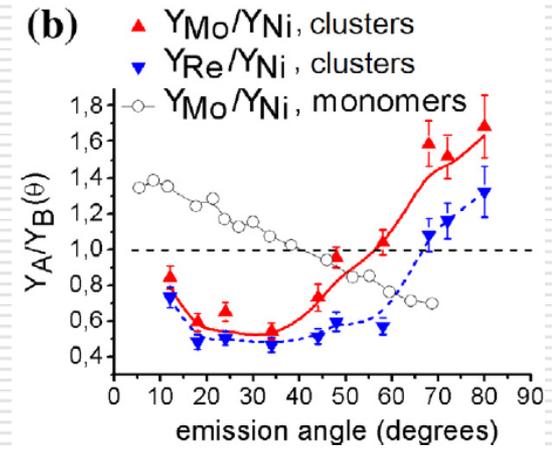
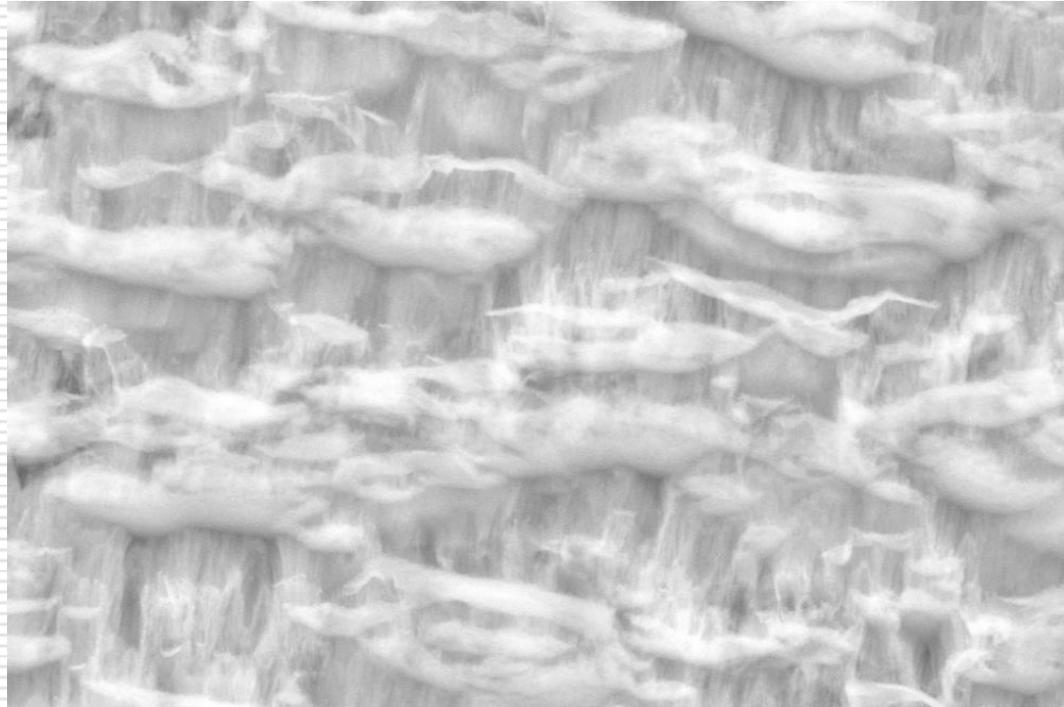
Pd распыляется  
под большими углами:



обеднение Pd:



# Волны на сплавах: NiMoRe



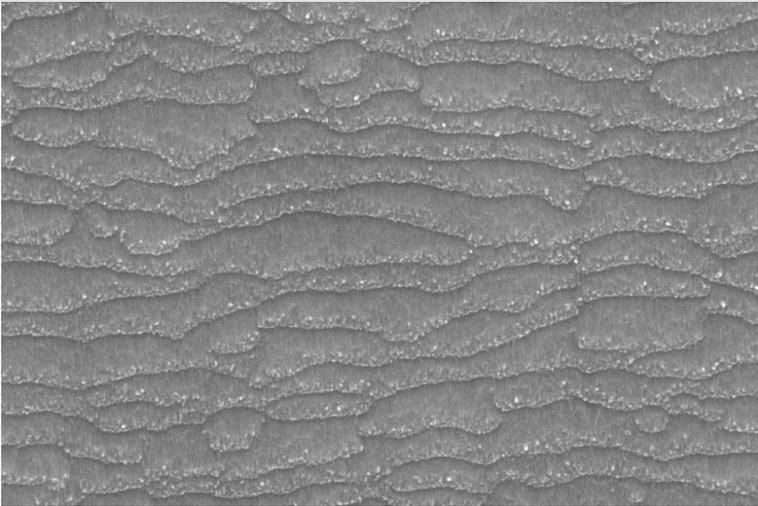
$$U_{Ni} < U_{Mo}$$
$$M_{Ni} < M_{Mo}$$

обеднение Ni

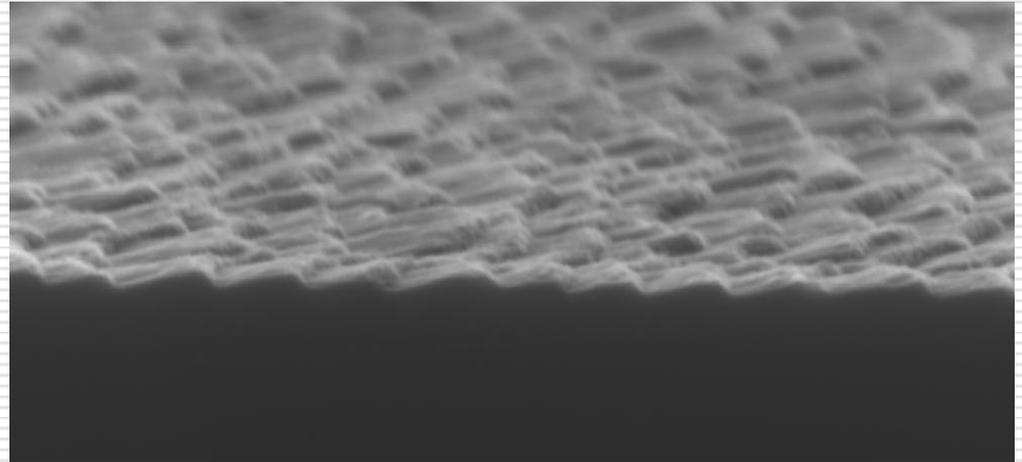
# Формирование волн на Si

---

Вид сверху:



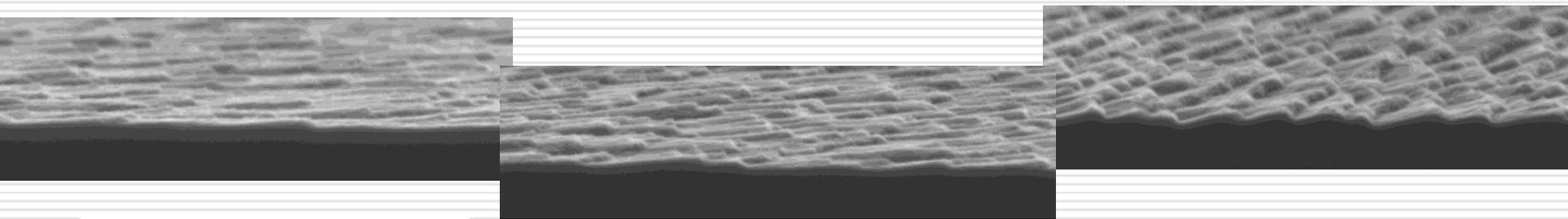
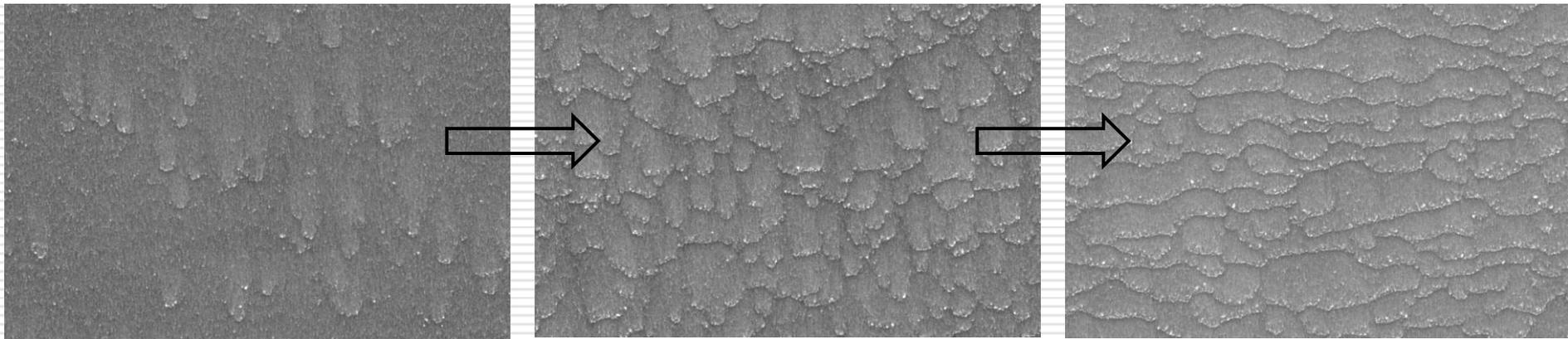
Скол:



12 кэВ  $\text{Ar}_{1000}^+$ ,  $\alpha=60^\circ$ , доза  $2,5 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>

# Эволюция рельефа

---



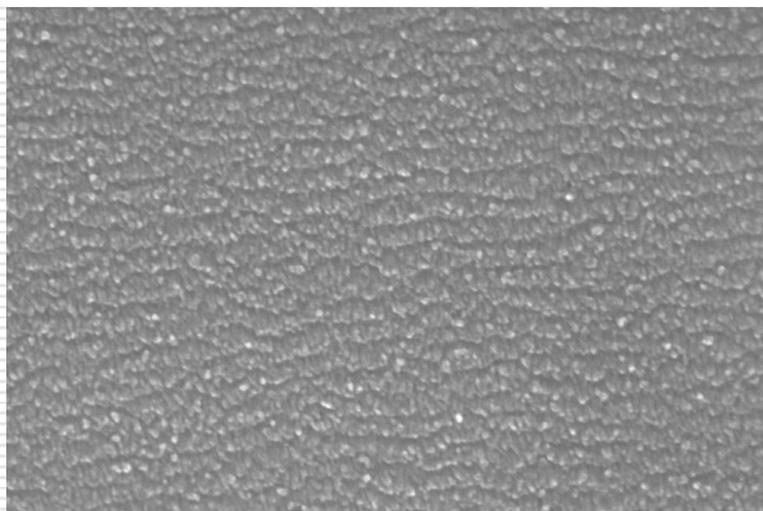
$$\frac{Y}{n} = \frac{[E/(An)]^q}{1 + (E/(An))^{q-1}}$$

высота рельефа  $\leq$  толщине распыленного слоя!

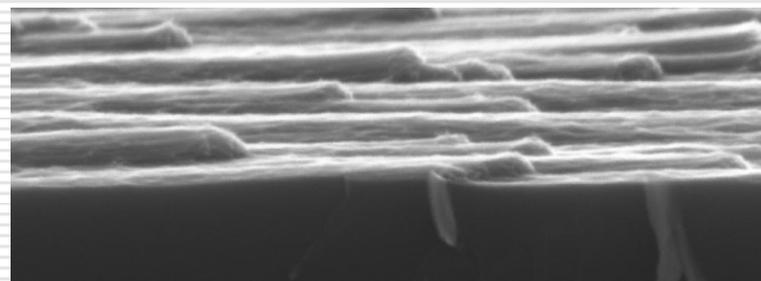
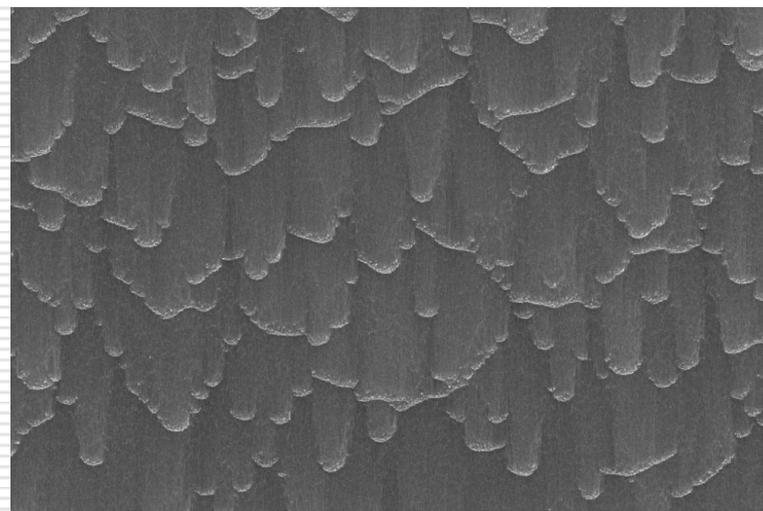
# Влияние угла падения

---

$\alpha=47^\circ$



$\alpha=75^\circ$



# Выводы

---

## Сплавы:

- ❑ Переход от «непрерывных» волн к «островковым»
- ❑ Перераспределение компонентов сплава вдоль поверхности
- ❑ Накопление более тяжелого компонента в гребнях волн

## Кремний:

- ❑ На начальном этапе формируются отдельные выступы за счет переосаждения латерально распыленного вещества
- ❑ Хаотически расположенные выступы организуются в волны
- ❑ Сильная зависимость от угла падения

---

**Thank you for your attention!**

[ieshkin@physics.msu.ru](mailto:ieshkin@physics.msu.ru)