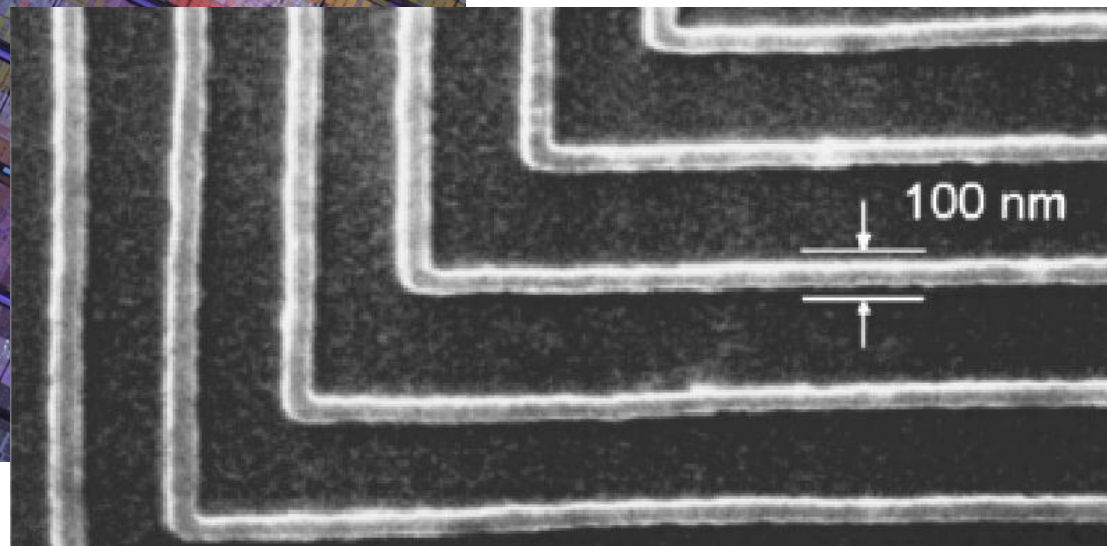
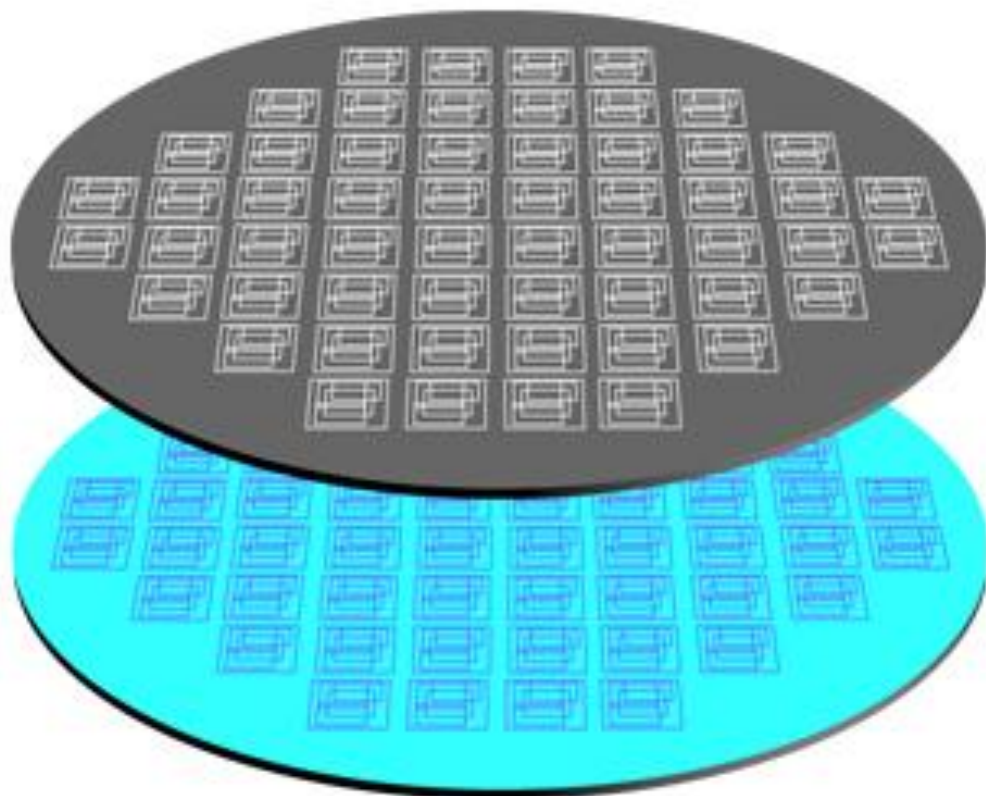


фотолітографія





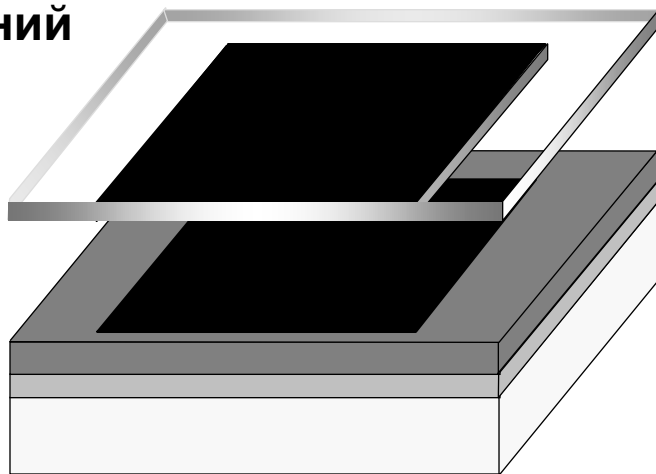
маска

фоторезист  
підкладка

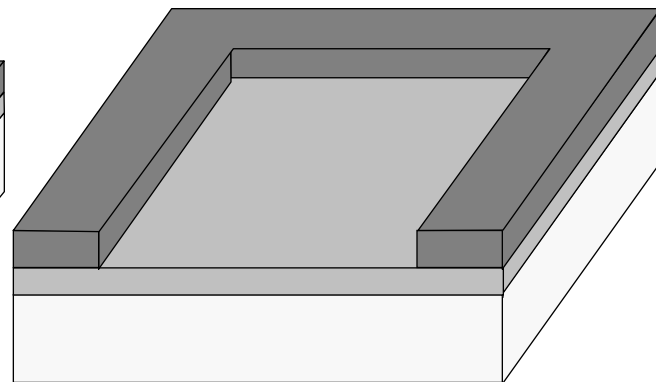
- перенесення зображення з шаблону на поверхню
- утворення тимчасового зображення в матеріалі

фоторезист **негативний**

розчинність  
полімеру  
зменшується

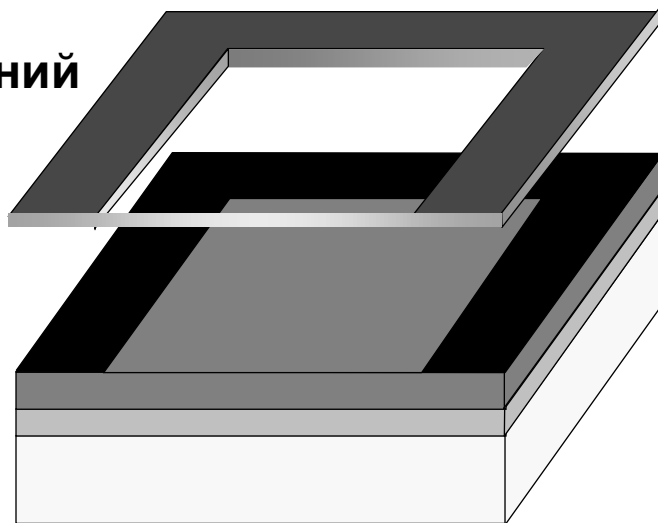


зображення **зворотнє**

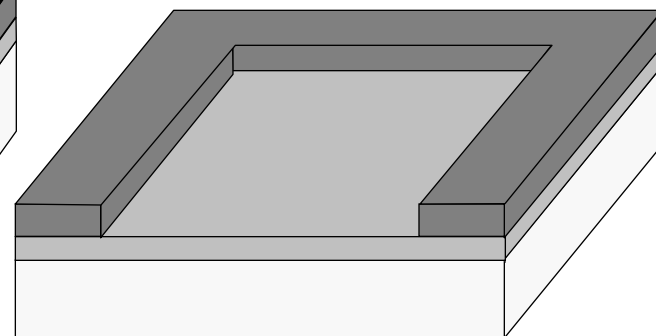


фоторезист **позитивний**

розчинність  
полімеру зростає



зображення **пряме**

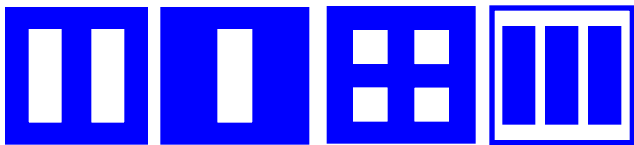


проекція окремих елементів  
→ краща повторюваність

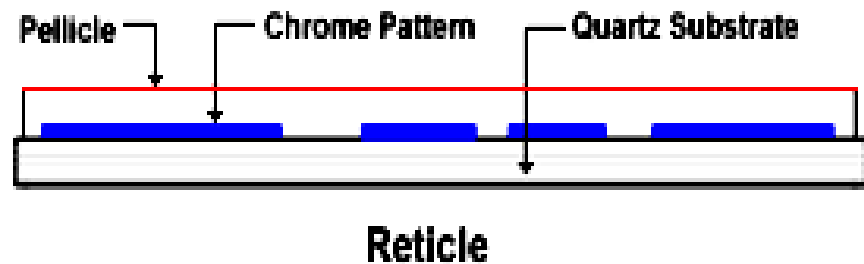
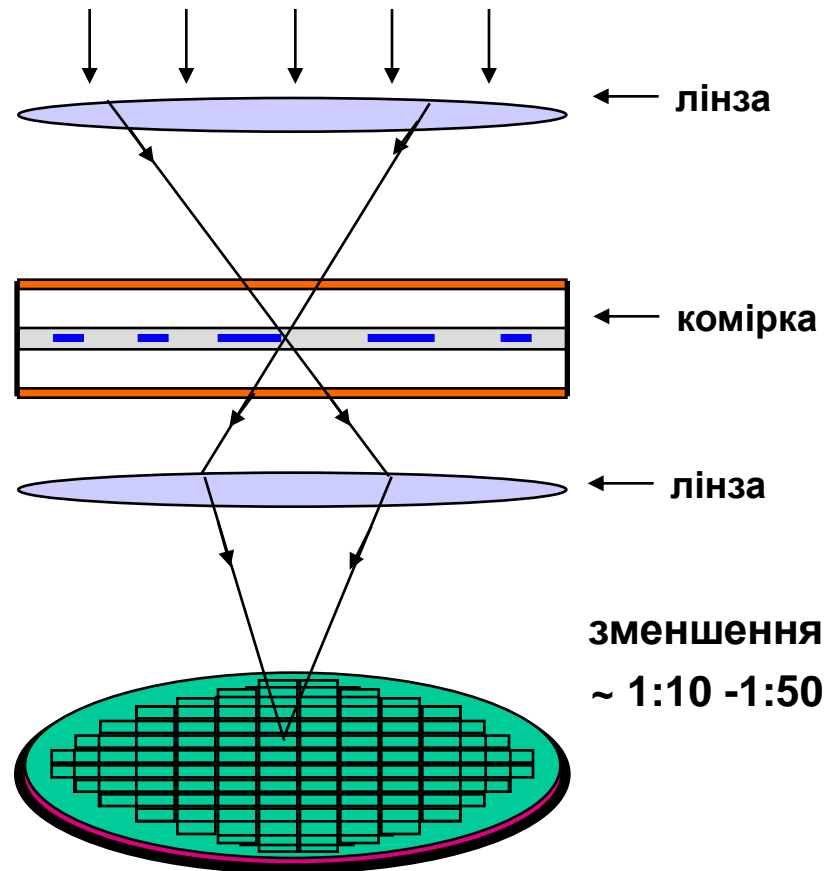


**stepper**

~ 50 підкладок/год

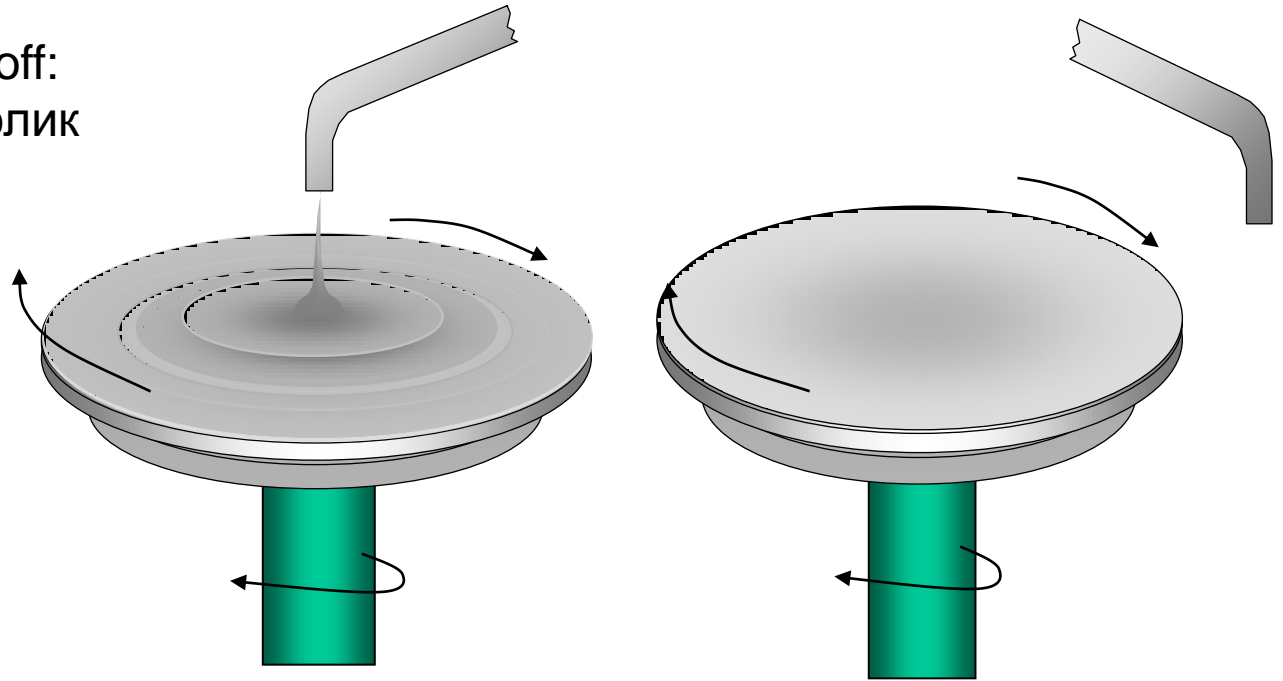


набір комірок для транзистора



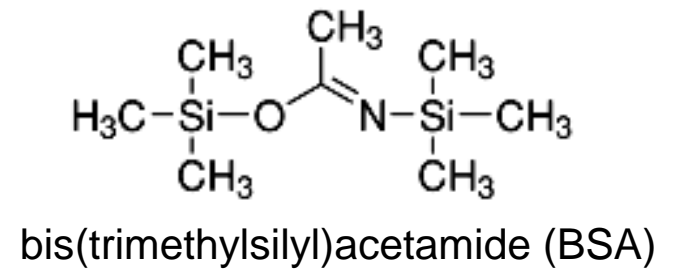
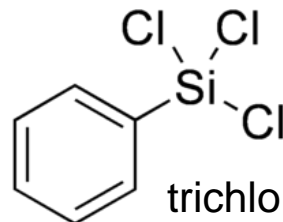
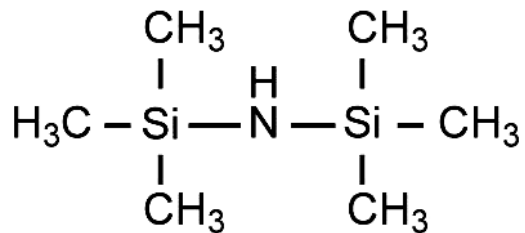
накладання spin-off:

- вакуумний столик
- наливання
- 4000 rpm

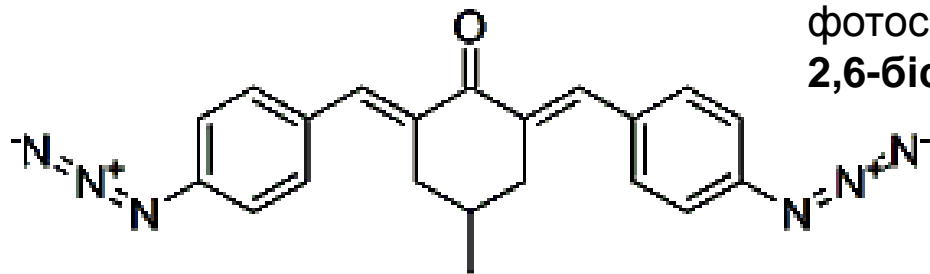
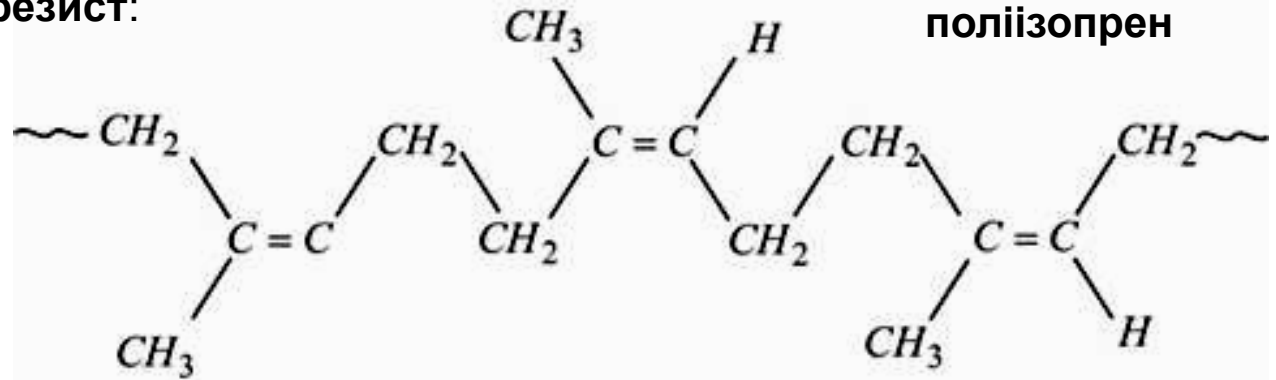


промотори адгезії:

**1,1,1,3,3,3-hexamethyldisilazane (HMDS)**

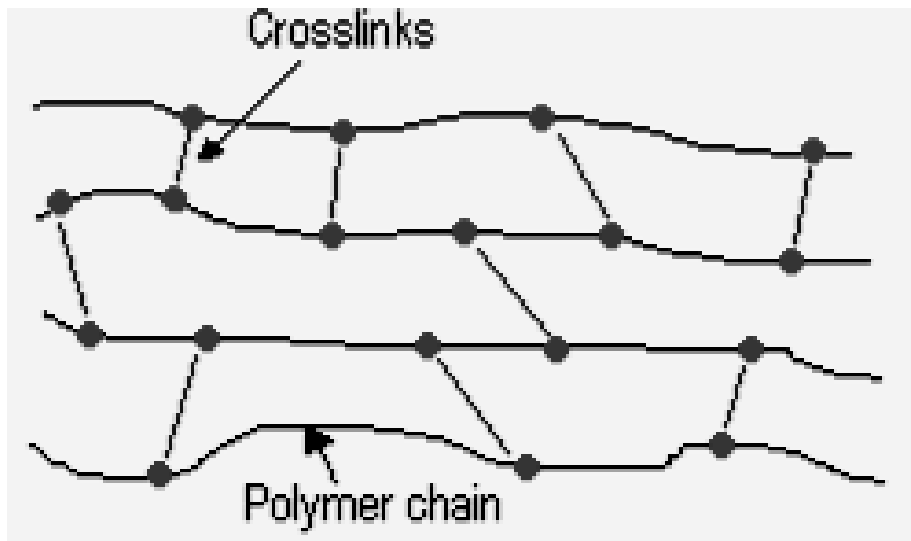


негативний фоторезист:



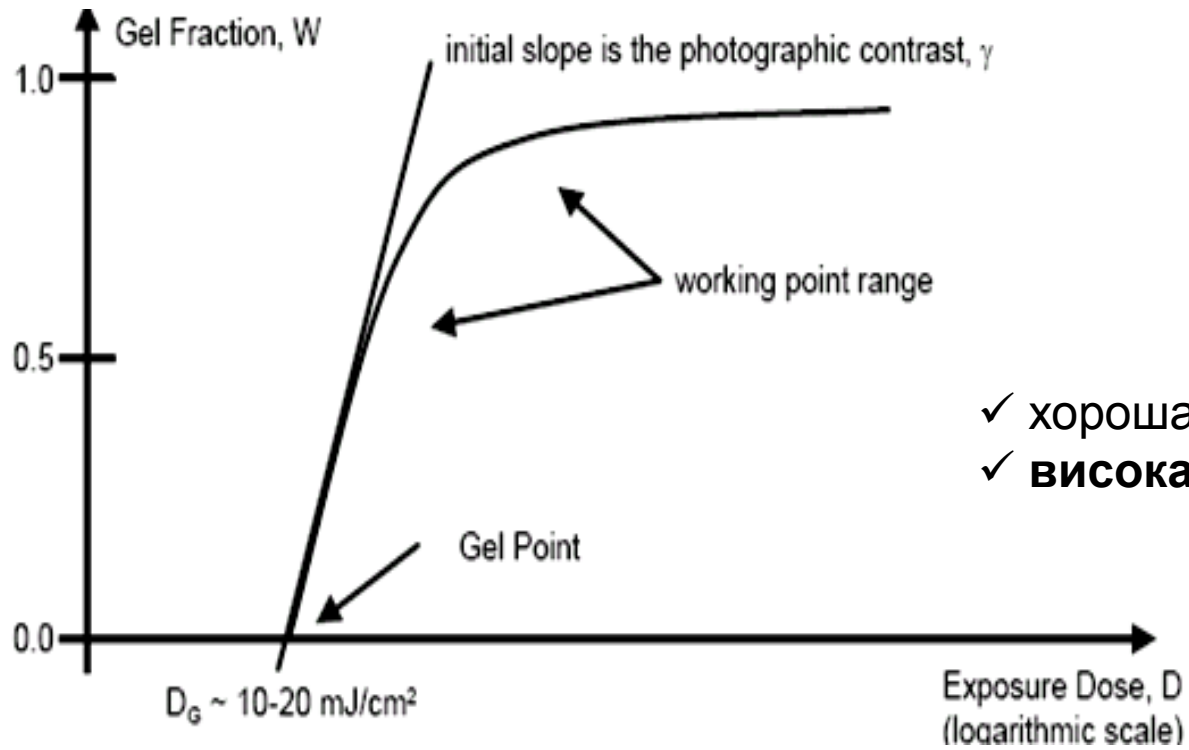
фотосенсибілізатор –  
2,6-біс(4-азидобензаль)-4-метилциклогексанон

нітрильні біс-радикали ініціюють  
зшивання макромолекул



недолік:  
набрякання зшитого полімеру

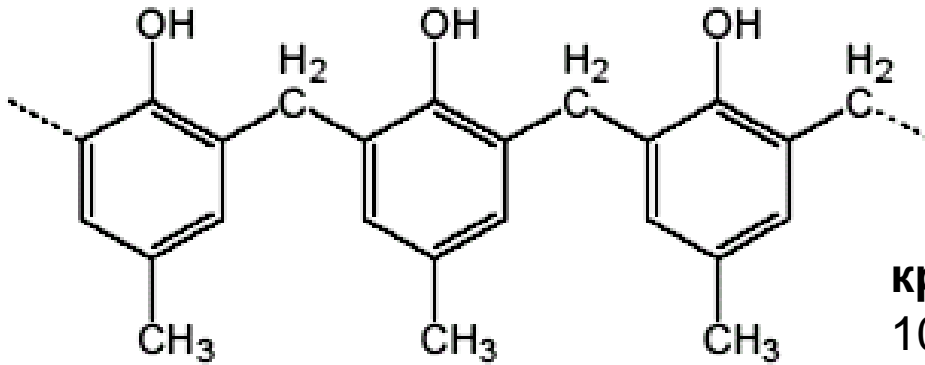
## негативний фоторезист:



- ✓ хороша адгезія
- ✓ **висока фоточутливість**

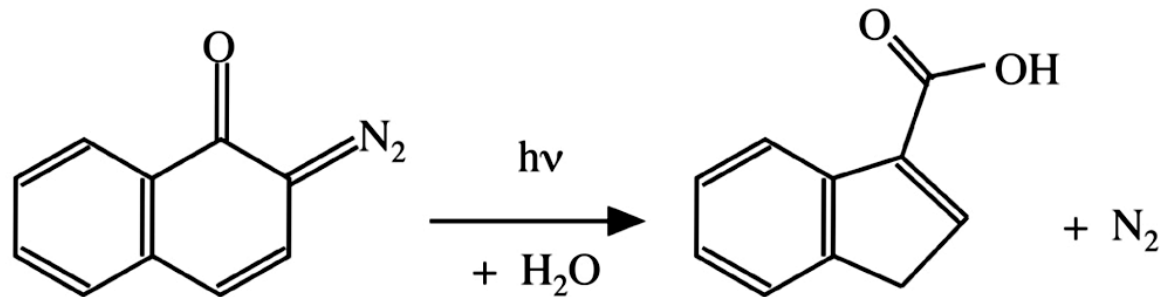
➤ **низька роздільна здатність ~3 мкм**

позитивний фоторезист:



крезол-формальдегідний олігомер  
1000 - 3000 г/моль  
+ ксилол, етилацетат

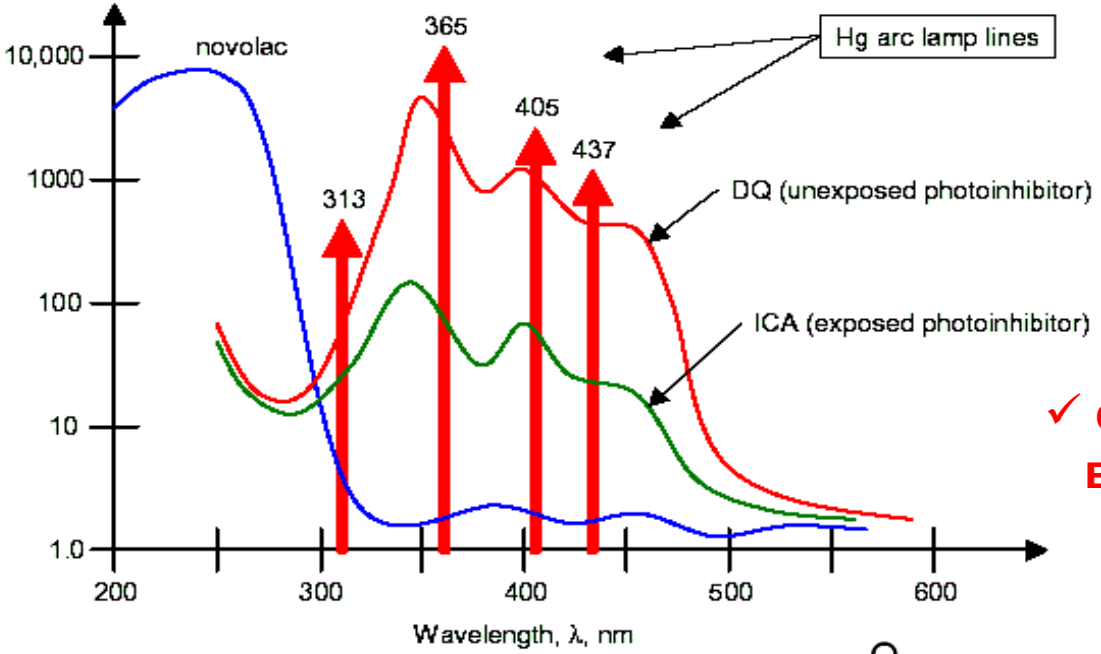
діазонафтохінон:  
фоточутливий інгібітор розчинення



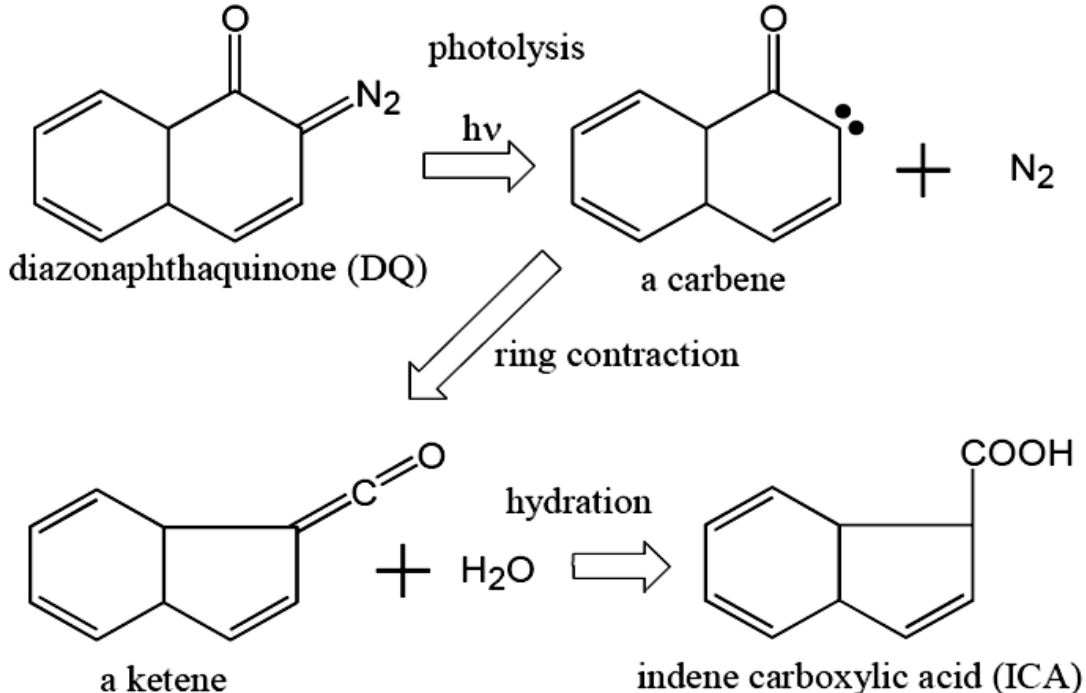
проявлення зображення – водний розчин ~0,15 М КОН

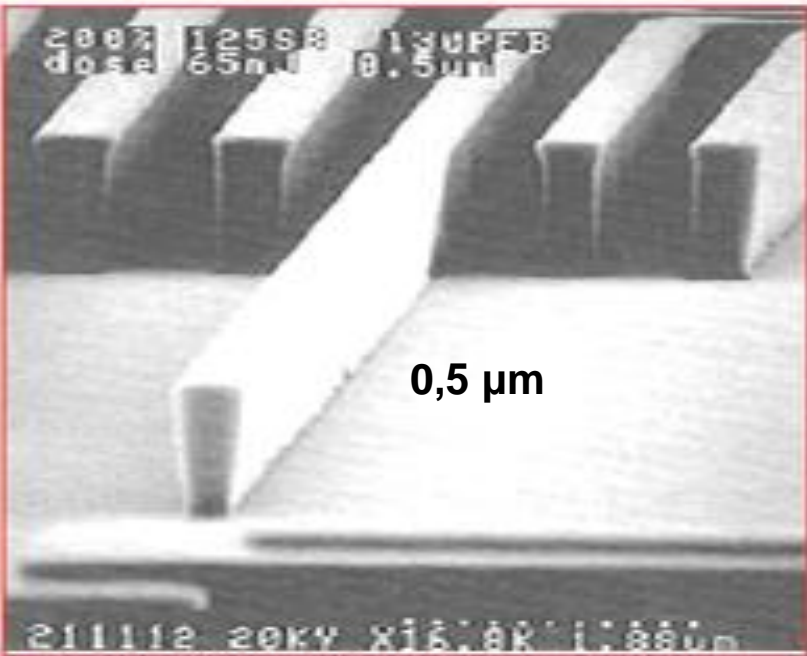


# ПОЗИТИВНИЙ ФОТОРЕЗИСТ



✓ спектр діазонафтохінону відповідний до Hg лампи

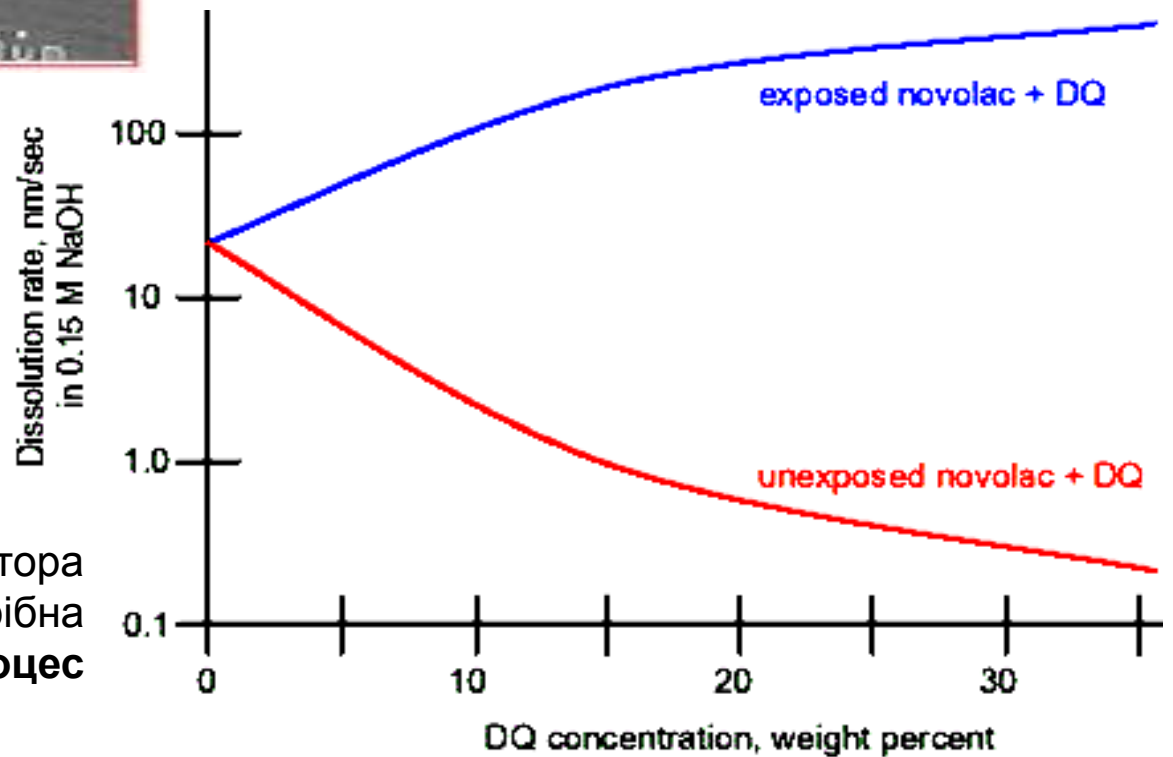




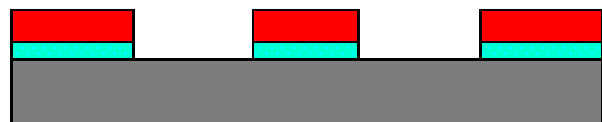
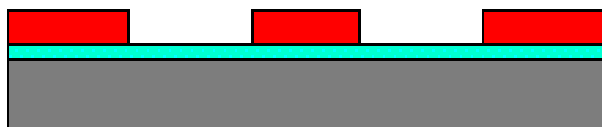
полімер ароматичний →  
 ✓ стійкий до обробки плазмою

полімер не набрякає →  
 ✓ висока роздільна здатність

високий вміст фотосенсибілізатора  
 → велика доза UV потрібна  
 ➤ повільний процес

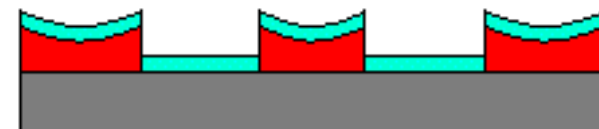
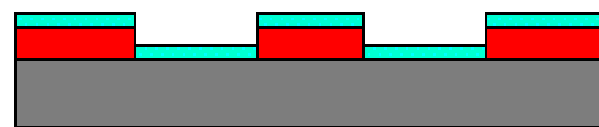


## etch back

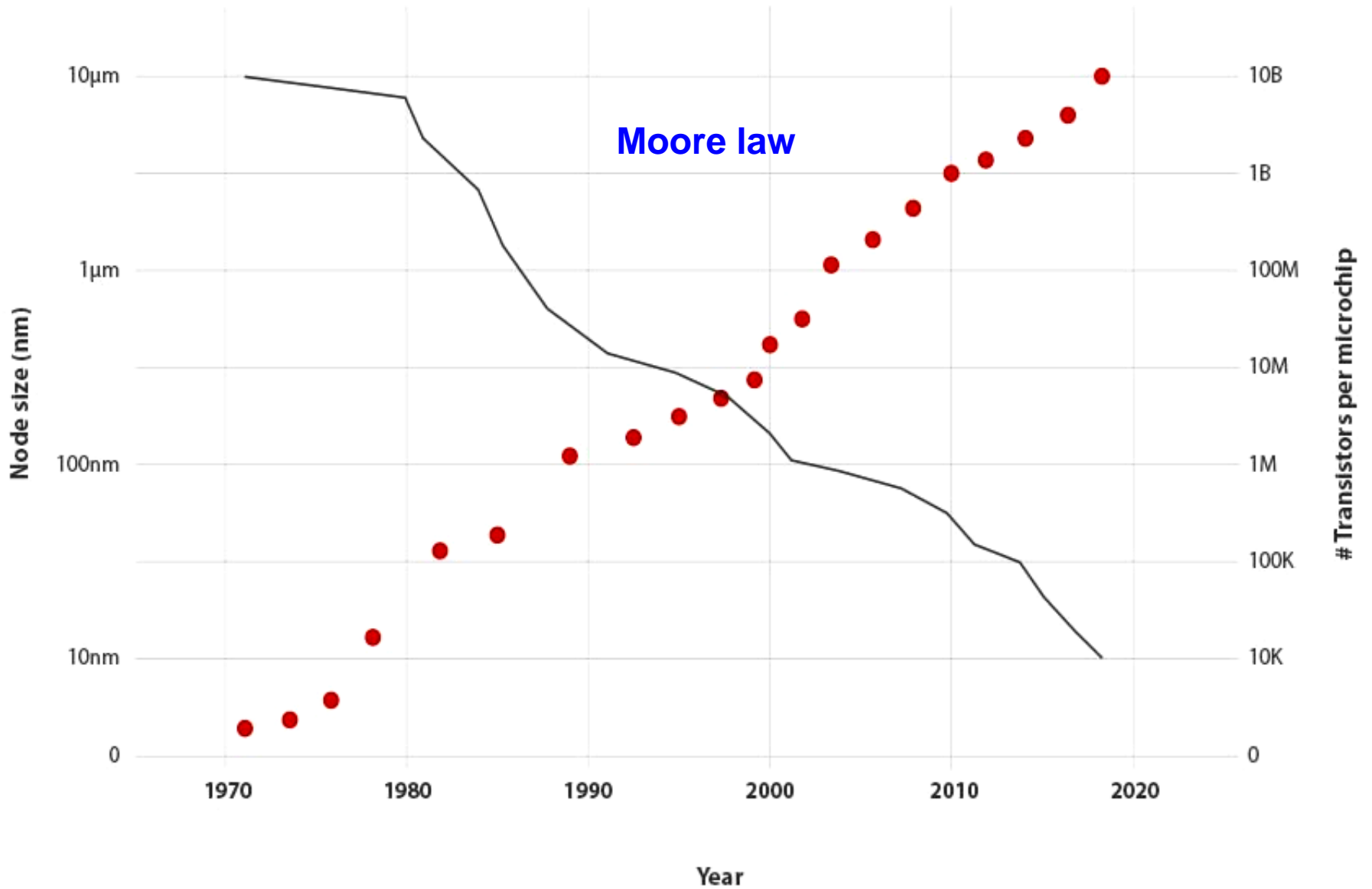


шар Al травиться  
увікнах фоторезисту

## lift-off



фоторезист набрякає →  
усуває шар Al

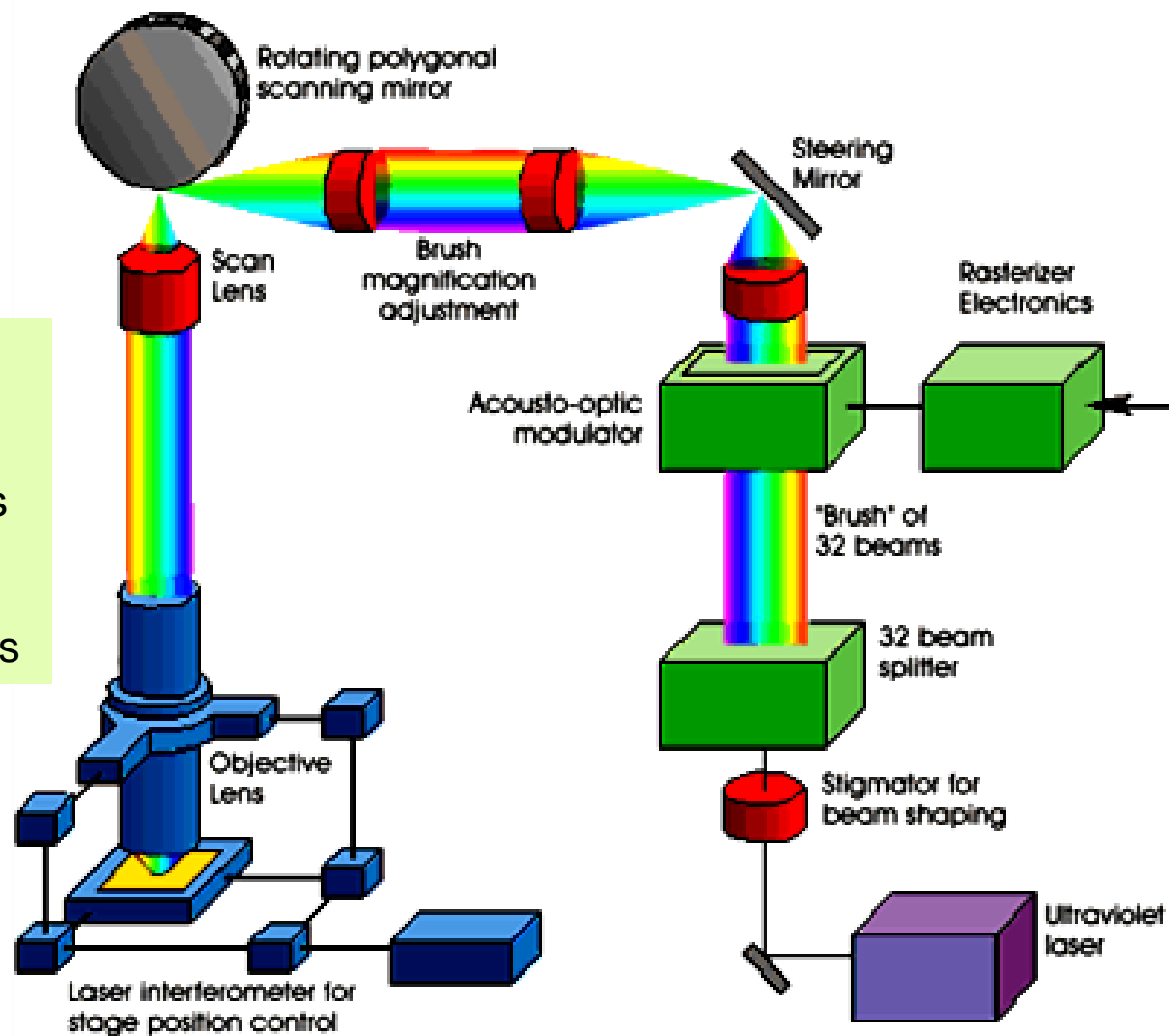


зменшення розмірів транзистора вимагає зменшення довжини хвилі

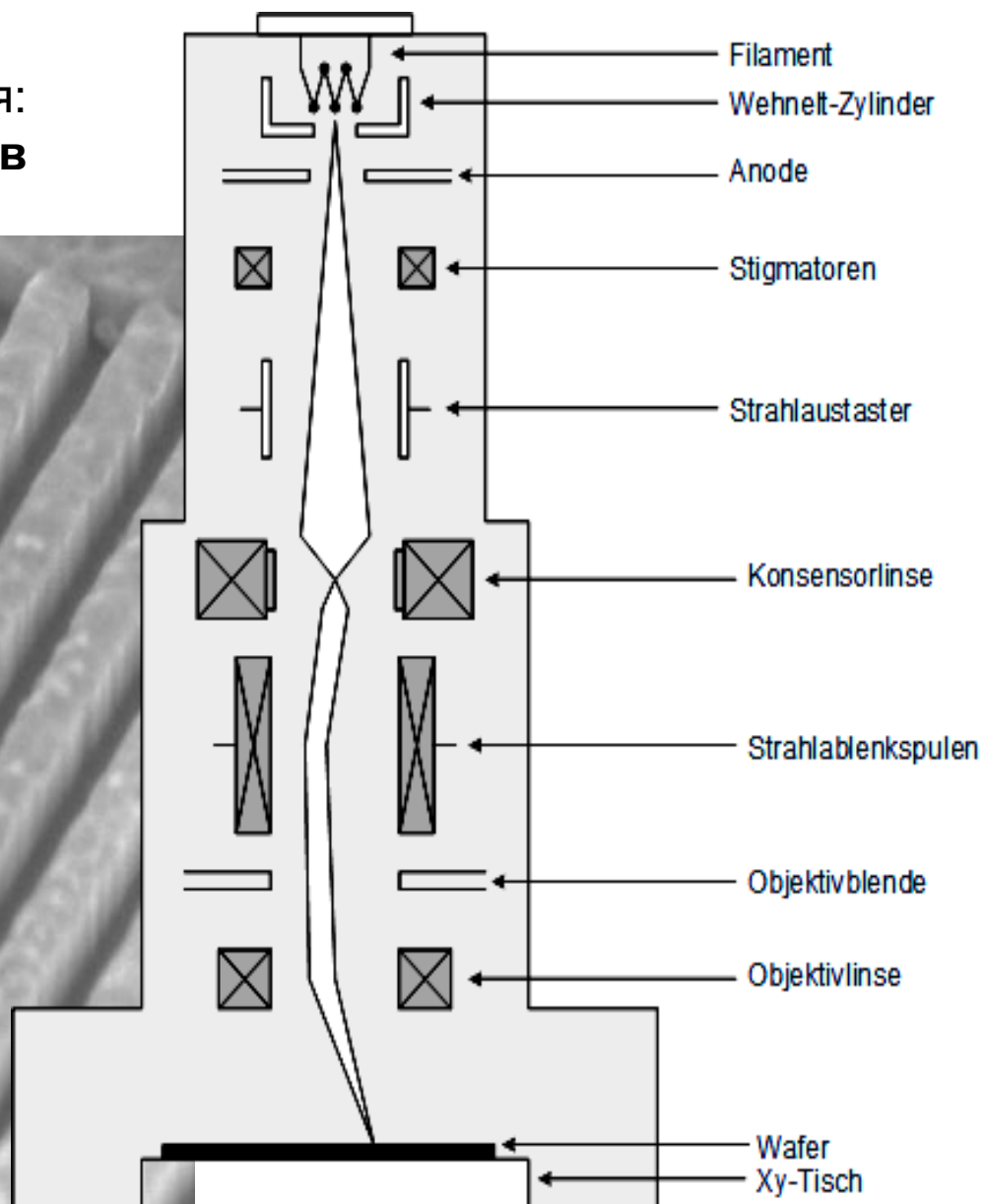
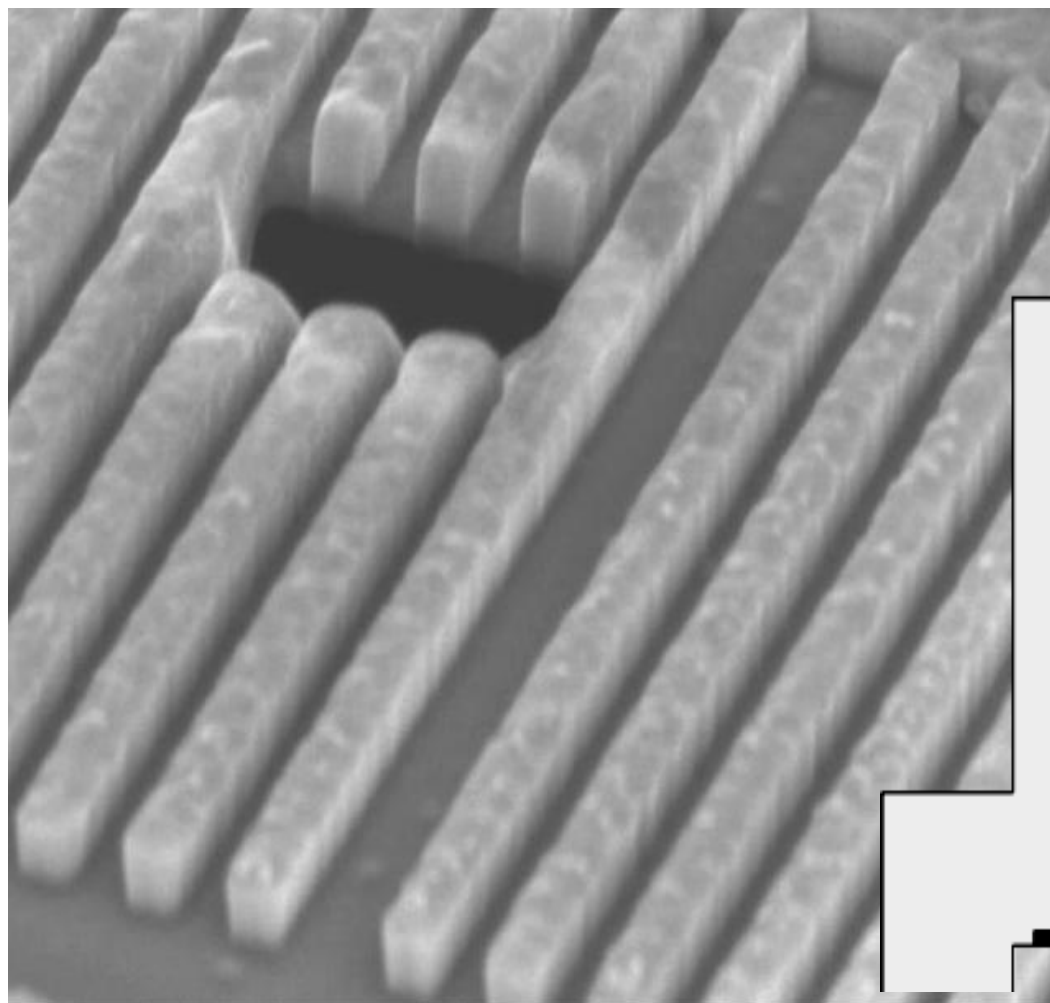
джерела променів UV:

- лампа Hg
- ексимерний лазер

h-лінія Hg	405 nm	
i-лінія Hg	365 nm	
KrF лазер	248 nm	500 J/s
ArF лазер	193 nm	80 J/s
F <sub>2</sub> лазер	157 nm	0,06 J/s



пост-оптична літографія:  
струмінь електронів / іонів



HV	WD	mag	tilt	500 nm
5.00 kV	5.0 mm	56 951 x	52 °	

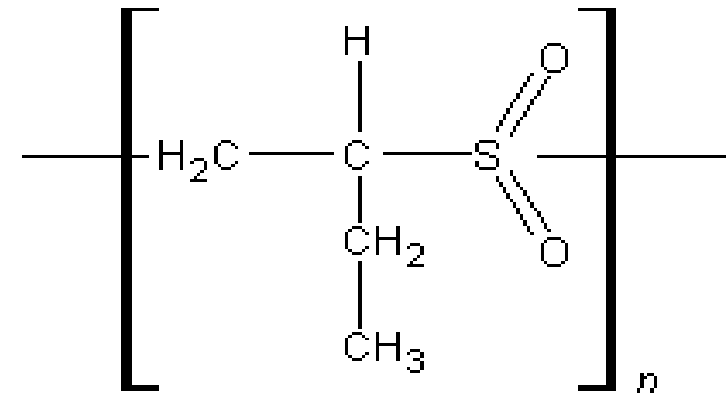
NanoFabLab

фоторезист **ПОЗИТИВНИЙ**: полібутен-1-сульфон

струмінь електронів

→ розривання макромолекул

→ розчинні олігомери



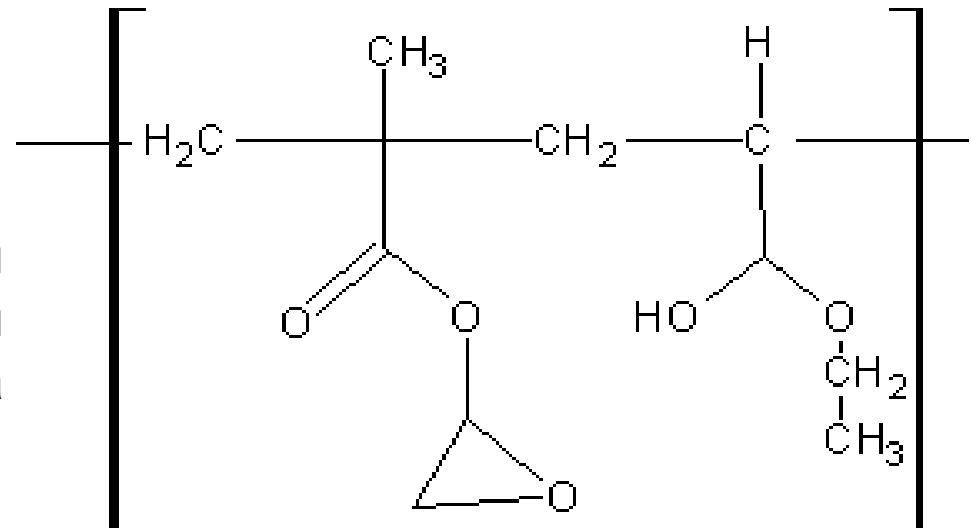
фоторезист **НЕГАТИВНИЙ**:

кополімер гліцидилметакрилату і етилакрилату

аніонна полімеризація

епоксидних груп

→ нерозчинна сітка



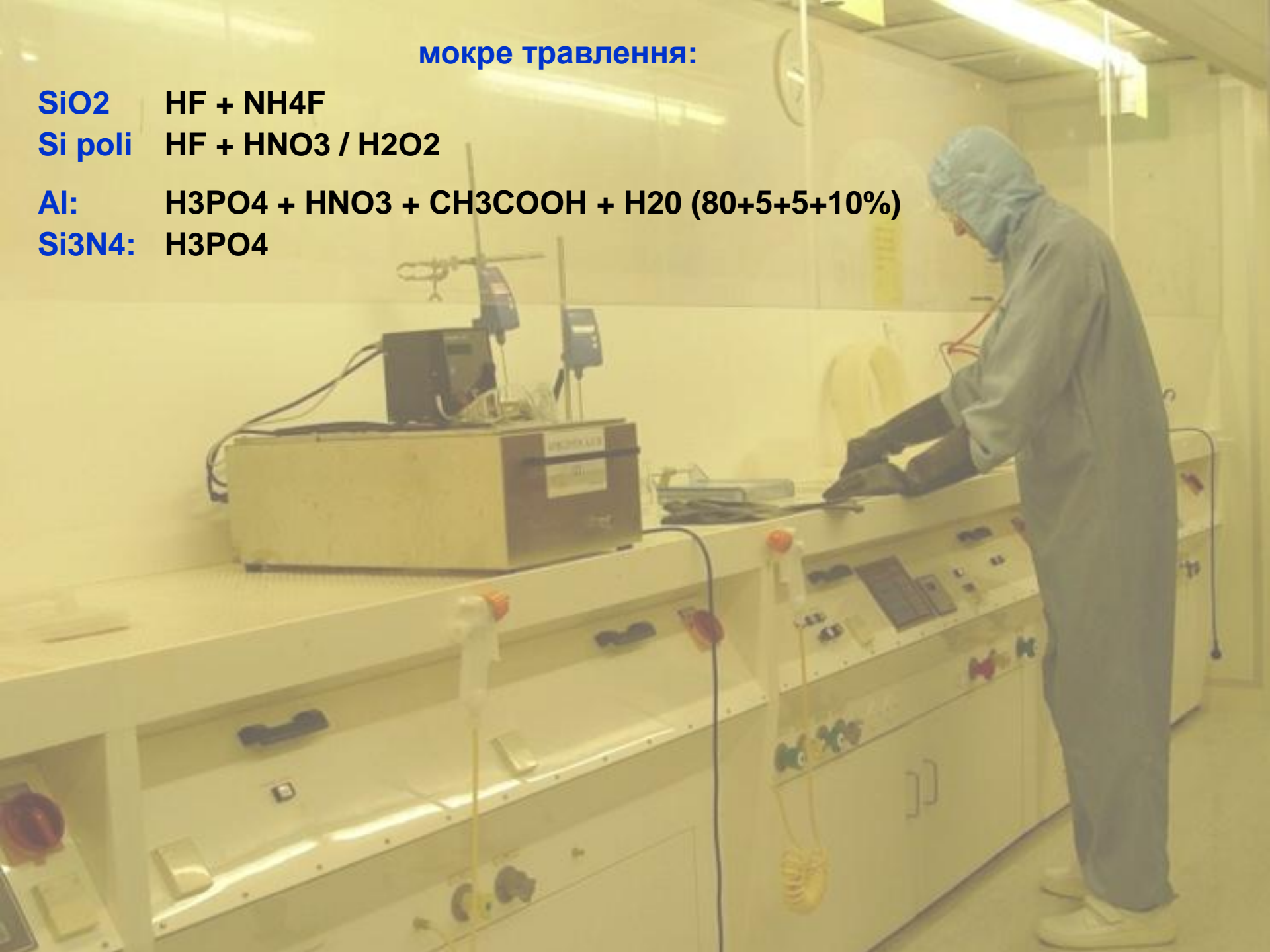
**мокре травлення:**

**SiO<sub>2</sub>** HF + NH<sub>4</sub>F

**Si poli** HF + HNO<sub>3</sub> / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

**Al:** H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + HNO<sub>3</sub> + CH<sub>3</sub>COOH + H<sub>2</sub>O (80+5+5+10%)

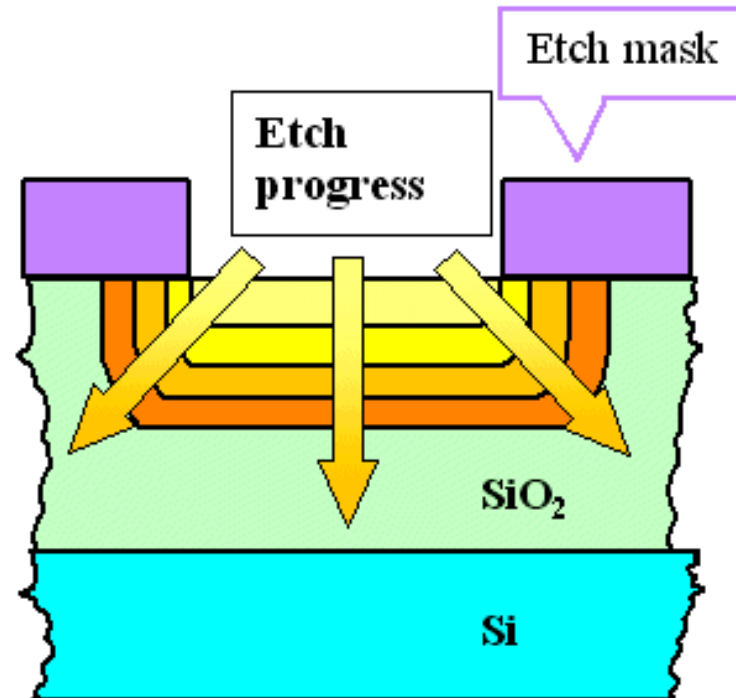
**Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>:** H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>



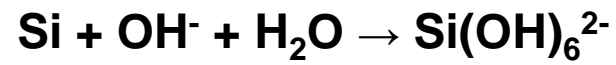


ізотропне травлення

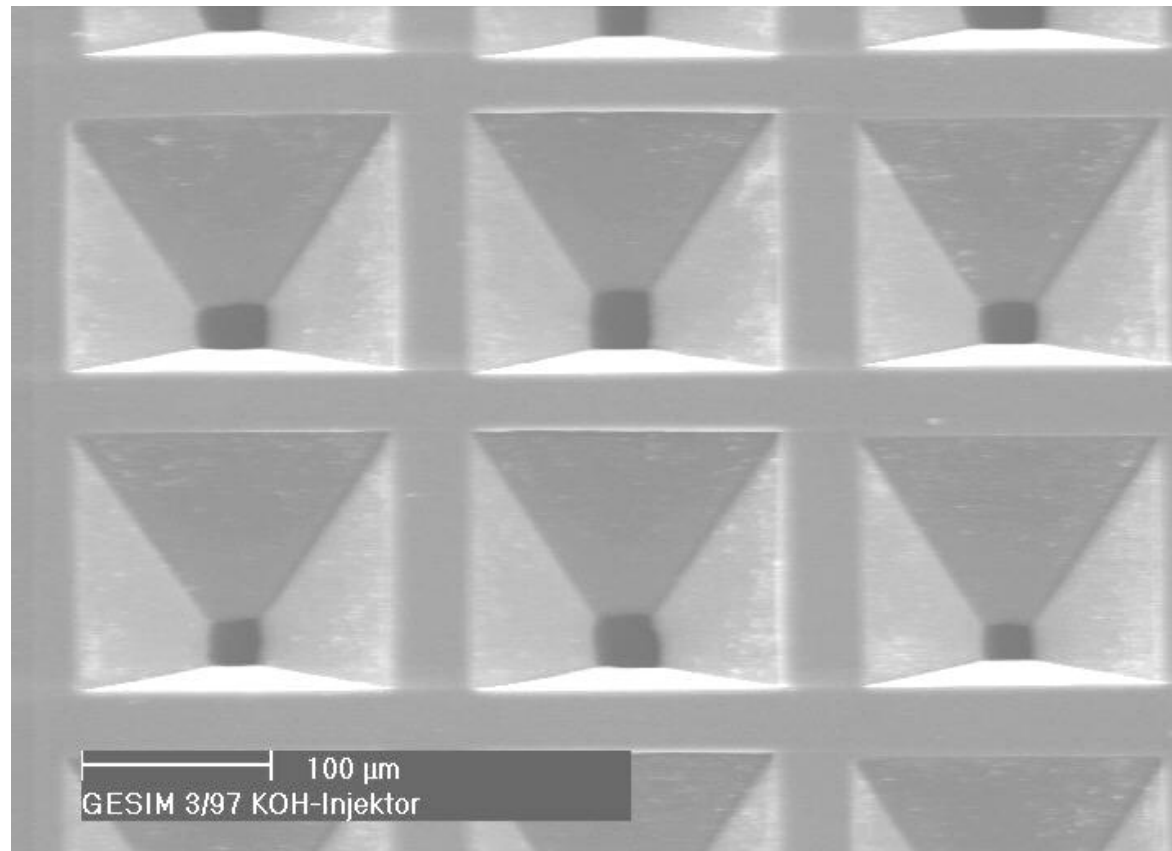
➤ спотворення зображення



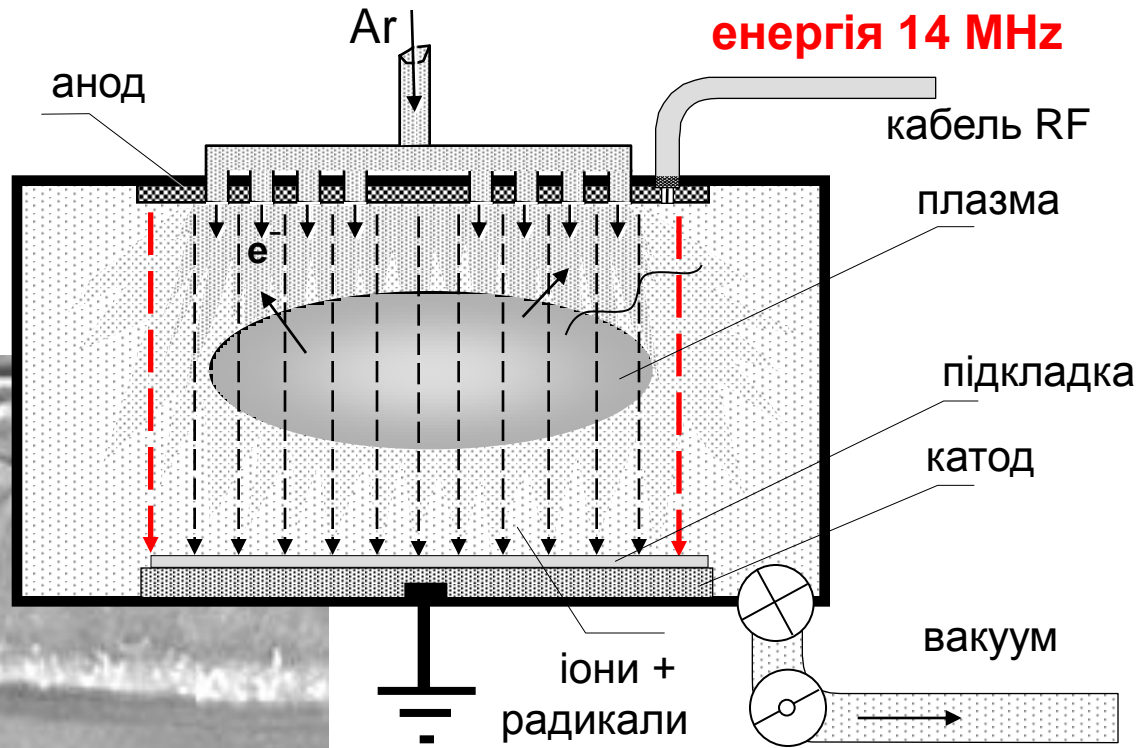
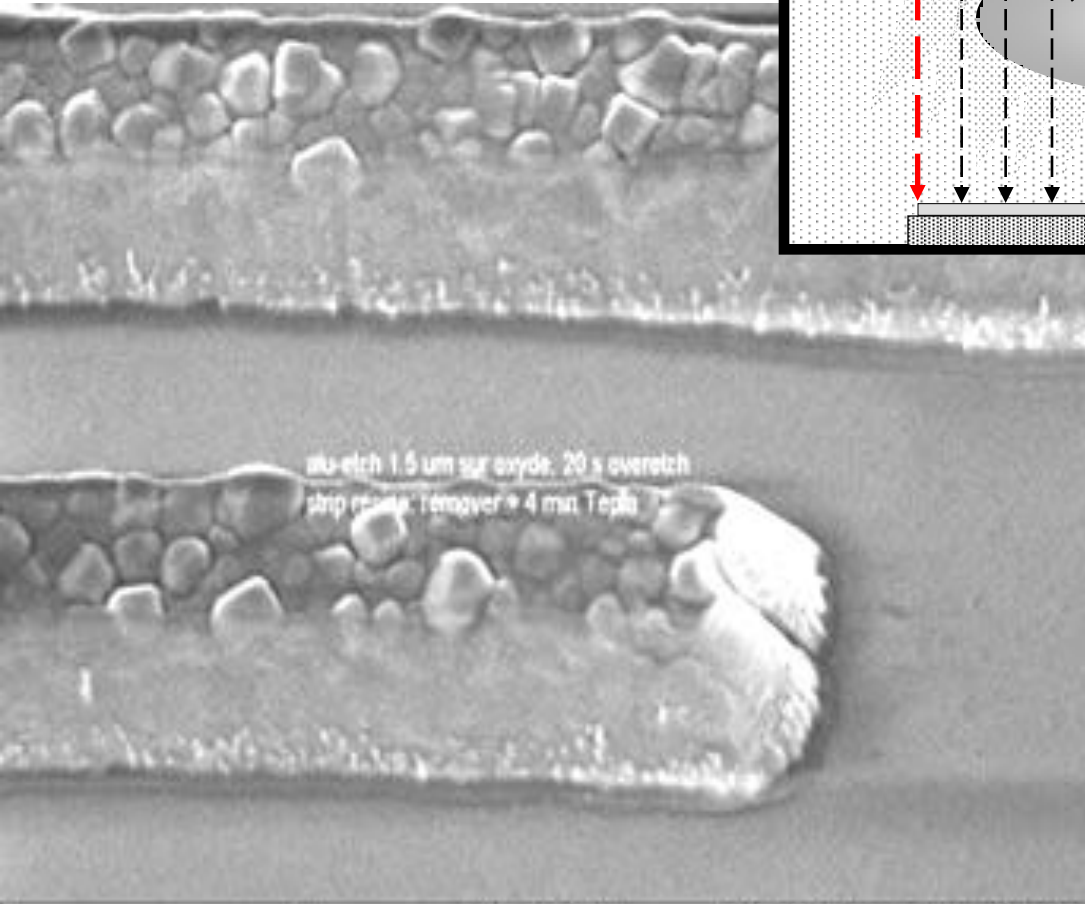
## анізотропне травлення моно Si:



$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$   
 $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+\text{OH}^-$   
 $\text{H}_2\text{N}-\text{NH}_2$   
 $\text{KOH}$



„dry” –травлення в плазмі :



реактивні частинки:

- F<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>/BCl<sub>3</sub> - для Al
- CF<sub>4</sub> - для Si, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

Mag = 14 86 K X

1µm

EHT = 3.00 kV  
WD = 4 mm

Signal A = InLens Date = 2 Mar 2001  
Photo No = 650 Time = 14:08:18

- травлення Si:  $\text{Ar}^+$  плазма
- допоміжна речовина  $\text{F}\cdot + \text{Si} \rightarrow \text{SiF}_4$
- $\text{CF}_4 \rightarrow \cdot\text{CF}_2\cdot + \text{F}\cdot + \text{F}\cdot$
- $\cdot\text{CF}_2\cdot$  радикали охолоджуються на поверхні  $\rightarrow (\text{CF}_2)_n$  полімер
- PTFE стійкий до радикалів  $\text{F}\cdot$  але деградує під дією  $\text{Ar}^+$

**висока анізотропність травлення**

