

■ Answer the questions (problems) of the Chapters 1 and 2 with explanations and/or calculations :

Chapter 1: Overview (usual / general knowledge on overall CMOS process)

Problem 1-1

$$6 \text{ inch} = 406.4 \text{ mm}$$

$$\text{number of dice} = \frac{A_w}{d^2} = \frac{\pi r^2}{100 \text{ mm}^2} = \frac{129,717 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}^2} = 1297$$

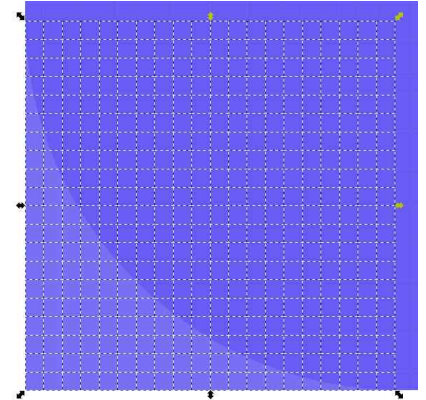
실제로 다이가 얼마나 올라가는 가를 그려서 확인해 보았습니다.

16인치 1/4 Wafer에 400개의 dice 모양을 올려보았습니다.

그 중에 원 위에 올라가는 dice의 수는 320개입니다.

$$320 \times 4 = 1280 \text{ 개}$$

면적으로 계산해본 dice의 개수와 실제로 세어본 개수가 유사했습니다.



Problem 1-2

Moore's law, mathematical equations in exponential formula

1. 칩의 밀도가 2년에 2배씩 증가한다.

$$\text{Memory Density} = 2^{\frac{\text{year}}{2}}$$

2. 단위 면적당 transistor 개수 증가

$$\text{number of transistor} = 2^{\frac{\text{year}}{1.8}}$$

3. 메모리를 구성하는 Feature size

$$\text{Feature Size} = 2^{-\frac{\text{year}}{5}}$$

Problem 1-3

Draw basic NMOS flowchart along with key cross-sections and masks.

- Thermal oxidation 으로 SiO2 층 만들기
- CVD nitride Deposition
- (Mask #1) Active area를 제외하고 Si Nitride, SiO2, Silicon을 etching
- Etching한 곳에 Boron을 implant 시킨다.
- CVD SiO2 deposition
- Nitride 부분 제거
- CVD Poly silicon deposition - Bird's beak 모양 형성
- (Mask #2) Active area에서 Emitter로 사용될 부분에만 마스크를 이용하여 Poly silicon을 etching.
- Etching을 한 부분에 Acceptor를 implant 해준다.
- (Mask #3) Emitter와 접촉하는 부분을 가리고, 표면에 나와 있는 Poly silicon을 SiO2로 덮어준다.
- (Mask #4) Emitter 부분을 Si으로 contact region을 만들어준다.

Problem 1-4

There are 7 elementary processes of CMOS (excluding the wafer preparation process).

But Mr. Chun remembers only 4 names among those 7 processes:

1. Photo-Lithography
2. ??
3. ion-implantation
4. diffusion
5. metallization (i.e. interconnections and contact)
6. ??
7. ??

What is the rest?

2. : Oxidation
6. : Etching
7. : Film Deposition

Chapter 2: Photo-Lithography (1st elementary process)

Problem 2-1

Explain briefly the definition of the clean room class.

Clean room class : 단위 정육면체 공간(t)에 0.5um의 먼지의 개수가

- 1개 : Class 1
 - 10개 : Class 10
 - 100개 : Class 100
 - 1000개 : Class 1000
 - 10000개 : Class 10000
- 입니다.

Problem 2-2

Explain why do we prefer $\langle 100 \rangle$ or $\langle 111 \rangle$ wafer rather than $\langle 110 \rangle$ from the physical point of view in terms of the crystal orientation and atomic density.

$\langle 110 \rangle$ 의 실리콘 lattice는 $\langle 100 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ 훨씬 더 뾰뾰하기 때문에, Oxidation 효율, Etching 효율 등이 좋지 않다.

$\langle 110 \rangle$ 방향으로 Positive PR을 이용한 Patterning을 할 때, Si Etching Undercut 모양이 다른 방향보다 좋지 않다.

Problem 2-3

Explain briefly why do we need a soft-bake and hard-bake processes of the PR, respectively.

Soft bake : Photoresist의 Solvent를 없애서 adhesion을 향상시키기 위한 목적으로 함.

Hard bake : UV exposure와 Development를 하고난 후에, PR의 adhesion을 더욱 향상시키기 위한 목적으로 함.

Problem 2-4

Explain the differences between a negative and positive PRs, providing an advantage of usage of combinations of negative and positive PRs.

Positive PR : UV를 조사하는 부분이 development를 하면 제거되는 PR

Negative PR : UV를 조사하는 부분이 development를 하면 남게되는 PR

Advantage of usage of combinations of negative and positive PRs : 마스크의 개수를 줄일 수 있다.

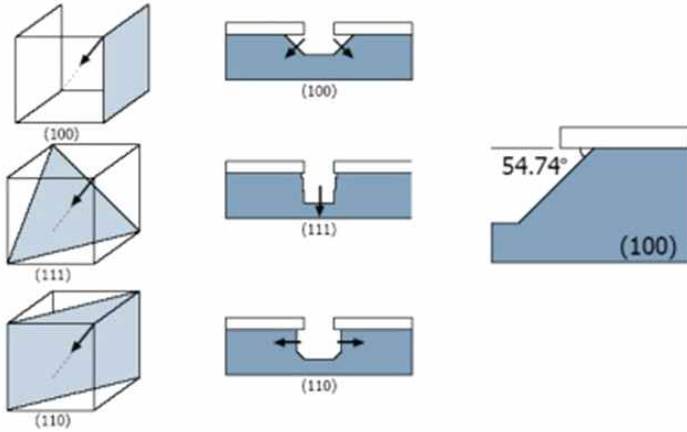
Problem 2-5

Explain the difference between anisotropic and isotropic etching.

For the case of isotropic etching, e.g. wet-chemical etching, provide a dependence on Crystal orientation of Silicon.

And provide details of anisotropic etching techniques, e.g. 3 dry-etching methods. In any case, explain the role of elements (F,Cl,N) in either wet-solutions or ions in plasma.

Isotropic etching : 등방성 에칭. 에칭을 할 때, 모든 방향에 등가적으로 영향을 미친다. 따라서 undercut 모양이 생긴다. 실리콘 결정 방향에 따라, 영향을 미치는 모양, 정도가 다르다. 결정 방향에 따라 생기는 undercut 모양은 다음 그림과 같다.



Anisotropic etching : 비등방성 에칭. 비등방성 에칭은 [Ion Milling], [Reactive Ion Etching], [Plasma etching] 3가지 방법이 있다. 에칭을 하는 방향에 따라 그 방향으로만 에칭이 되는 장점이 있다. 따라서 undercut의 생기지 않는다.

F, Cl, N 은 etching을 할 때 사용되는 원소들이다. 사용되는 원소에 따라, 어떤 물질을 etching할지, 정할 수 있다. 대부분의 부도체, 반도체에 etching할 때는 F가 사용되고, 금속을 etching할 때는 Cl이 사용된다.

Problem 2-6

Provide 3 different photo-lithographical printing techniques with explaining pros and cons for each case.

1. Contact printing. : 마스크와 PR을 접촉시키는 방식. 패턴의 초점을 맞추기 가장 좋다. 하지만 마스크가 오염되어 수명이 짧아진다.

2. proximity printing : 마스크와 PR을 근접하게 두지만, 접촉은 시키지 않는 방식. 마스크에 데미지를 최소화 할 수 있다. 하지만 정확한 패턴링을 하는 것에 한계가 있다.

3. projection printing : 마스크 밑에 렌즈를 두고, 렌즈를 이용해 빛을 모아서 PR에 조사하는 방식. 같은 마스크로 렌즈에 따라 다양한 크기를 시도할 수 있다. 또한 옮겨가며 여러 개를 찍어낼 수 있다. 광원과 PR의 거리가 렌즈 초점거리의 두 배만큼 떨어져 있다. 때문에 다른 방식에 비해 광원 파워가 약하다.

Problem 2-7

Explain the wave-length range of typical UV, DUV, and EUV, providing the relationship between the feature size and wave-length of the UV light (explain it with the concept of optics in depth of field for the aperture size of unity).

UV : 300 nm ~ 450 nm

DUV (deep UV) : 200 nm ~ 300 nm

EUV (Extreme UV) : 2 nm ~ 50 nm

$$0.5 \frac{\lambda}{NA}, \quad DF = 0.6 \frac{\lambda}{(NA)}, \quad NA = \frac{DF}{0.6\lambda}$$

$$F = 0.5 \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{DF}{0.6\lambda}}}$$

(F : feature size, NA : numerical aperture, DF : Depth of field)

- feature size는, 사용하는 광원의 파장이 줄어들수록 더 작아질 수 있다. 대략적으로 wavelength의 절반 정도이다.