



공정 5. Oxidation

➤ 관련 과목	
➤ 관련 시험/과제	
➤ 강의 일자	
☰ 상태	완강 완성
📎 강의자료	Lecture5_Oxidation (Kwon).pdf

Thin films

- If some film has below 1um (~10um) thickness, we call it thin film
- oxidation : 산화막 형성하는 과정, 산화막은 반도체에서 **절연막**(dielectric)으로 사용
- Si wafer를 가장 많이 사용하는 이유는 SiO₂ 산화막 만들기가 용이하기 때문임

Silicon Oxidation

- **Insulating layer**(절연) in device and between metal lines ($t_{ox} = 50\sim 200\text{\AA}$)
- **Passivation layer**(diffusion 막음) to seal silicon surface (i.e. diffusion barrier) ($t_{ox} = 0.5\sim 1\text{ um}$) → etching도 막음!
- **Blocking layer** to stop or mask impurity atoms ($t_{ox} = \sim 1\text{ um}$)

Silicon Oxide (SiO₂) 특징

- i) 공정 과정이 **쉽고 간단함**. 산소에 노출되면 Si wafer 표면이 SiO₂ 형성하며 산화됨
- ii) Good **insulating property**: $>10^7\text{ V/cm}$ (Thermal oxide), 10^6 V/cm (CVD oxide) (하지만 어떤 공정을 하냐에 따라 달라질 수 있으므로 하나로만 정해놓고 생각하지 말고 유연하게 생각할 것)
- iii) **Etching** selectivity with Si material (ex) ZnO)

Thermal Oxidation

Thermal oxidation process

- Si가 산화되는 에너지를 열로 주는 것.
- pure oxygen 기체(dry) 또는 수증기(wet)를 주입하고 wafer를 높은 온도로 heating함 (주로 900 ~ 1200 °C, 대기압)
- 높은 온도에도 잘 버티는 quartz로 만든 tube에 wafer를 넣음

Kinetics of Oxidation

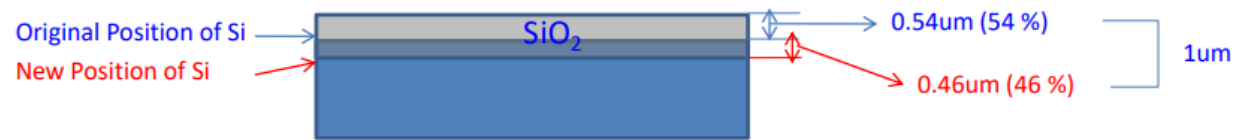
- 약 54% 새로 형성되고, 약 46%의 Si consumption이 발생함. x만큼 oxide를 growth 한다고 하면, Si 희생층 두께 0.46x.
- oxidation이 발생하려면 oxygen이 Si 표면에 도달해야 함
 - oxide가 쌓일수록 oxygen이 더 많은 oxide를 뚫고 확산되면서 Si에 도달해야 함
 - 시간이 지날수록 oxide의 growth rate 감소함

● **Dry oxidation (O₂ gas)**
 $\text{Si (solid/wafer)} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 \text{ (Solid)}$

● **Wet oxidation (water vapor)**
 $\text{Si (solid/wafer)} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 \text{ (Solid)} + 2\text{H}_2$



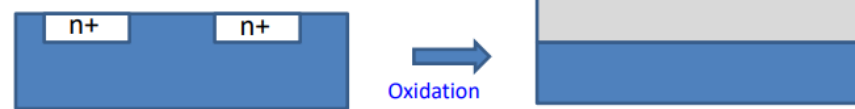
Question) To growth 1um SiO₂, what is the thickness of Si being consumed?



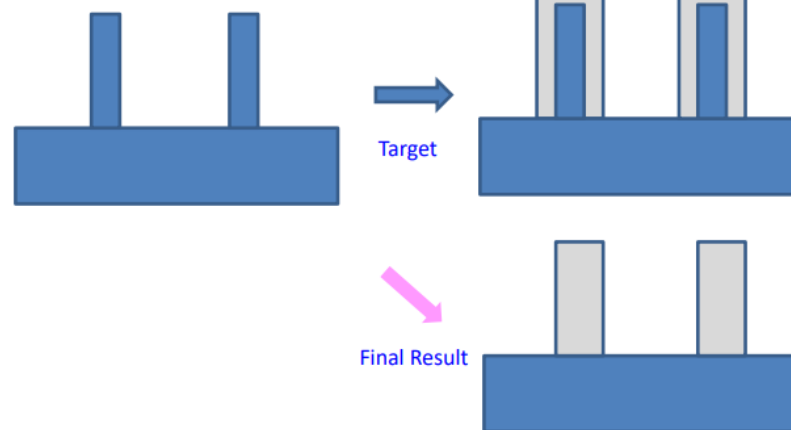
[Note] 0.46 t_{ox} is important

oxidation은 전방향으로 되기 때문에 두께 계산을 잘못하면 그림과 같이 Si로 남겨두고 싶었던 부분까지 다 SiO₂ 됨

● **n wells are removed**



● **All parts of Si structures are oxidized**



Comparison (Dry & Wet)

	Dry oxidation	Wet oxidation
process	$\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$	$\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2$
grow rate	low	high
quality	high (dense)	low
application	MOS gate oxide	Etch mask

얇은 산화막을 만들려면 산화막의 quality가 좋은 dry 방식으로 해야 함

MOS gate oxide는 전류가 세어나가지 않게 잘 막으려면 quality가 중요하므로 dry를 쓰는 것이 좋음

etch mask는 quality보다는 두께가 중요하므로 빨리 두껍게 쌓을 수 있는 wet을 써도 됨

Modeling

유도 과정)

1) **Fick's first law of diffusion**

$$J = -D \frac{\partial N(x,t)}{\partial x}$$

J (particle flux) : the particle flow per unit area

N : particle concentration

D : diffusion coefficient

2) oxygen flux (F) through the oxide가 일정하다고 가정하자. 즉, oxygen은 oxide 내부에 accumulate 되지 않는다.

• Oxide 표면의 oxygen flux : $F_1 = \frac{D(C_0 - C_s)}{x}$

• SiO₂-Si 경계면의 oxygen flux : $F_2 = kC_s$

x : oxide 두께 / k : **rate constant**

/ C_0 : oxide 표면의 oxidizing species concentration / C_s : SiO₂-Si 경계면의 oxidizing species concentration

3) steady state면 F_1 과 F_2 가 같을 것이므로, $F = \frac{DC_0}{x + (D/K)}$

4) oxide layer의 두께가 시간에 따라 변하면, $\frac{dx}{dt} = \frac{F}{C_1} = \frac{DC_0/C_1}{x + D/K}$

5) 1st ODE를 풀면,

$$x = 0.5A \left[\sqrt{1 + \frac{4B}{A^2}(\tau - t)} - 1 \right]$$

$$A = 2D/k$$

$$B = 2DC_0/C_1$$

τ : initial oxide를 grow하는 데 필요한 시간

i) Short time $(t + \tau) \ll A^2/4B$

$$x = \frac{B}{A}(t + \tau)$$

Key) 1. B/A is **linear rate constant**
 2. Growth rate just depends on time
 ; **Linear dependence**
 3. Limit is the reaction of Si surface

ii) Long time $(t + \tau) \gg A^2/4B$ $t \gg \tau$

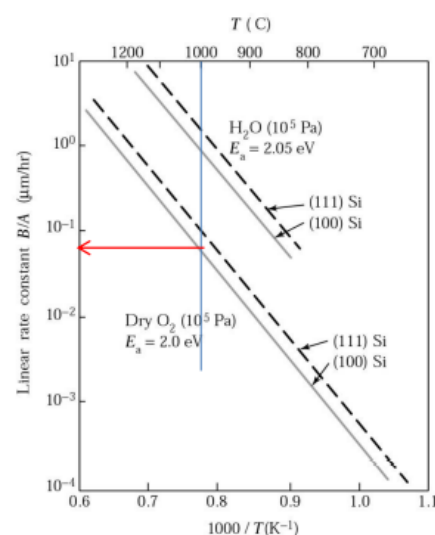
$$x = \sqrt{B(t + \tau)}$$

Key) 1. B is **Parabolic rate constant**
 2. Growth rate is limited by diffusion
 ; **parabolic dependence**
 3. Limit is the diffusion of oxygen

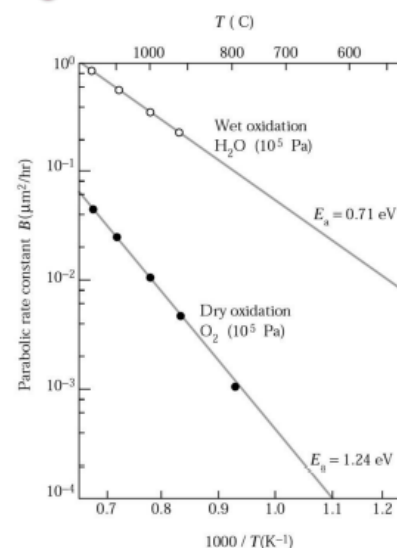
Rate Constant

- short time : linear rate constant. oxide가 선형적으로 형성됨. limitation에 reaction의 영향이 큼.
- long time : parabolic rate constant. 시간이 지날수록 oxide의 growth rate 감소함을 수식적으로 보인 것. limitation에 diffusion의 영향이 큼.

Linear rate constant



Parabolic rate constant



← parabolic의 y축은 log scale임

- Why (111) substrate has higher growth rate?

→ Available bonding density is higher than that of (100)

- Wet oxidation (H_2O) rate is faster than dry oxidation (O_2) (Generally, 5~10 times faster)

Growth Rate

Dry oxidation :

Low growth rate

Film quality is good

showing best electrical properties

<20nm , gate oxide

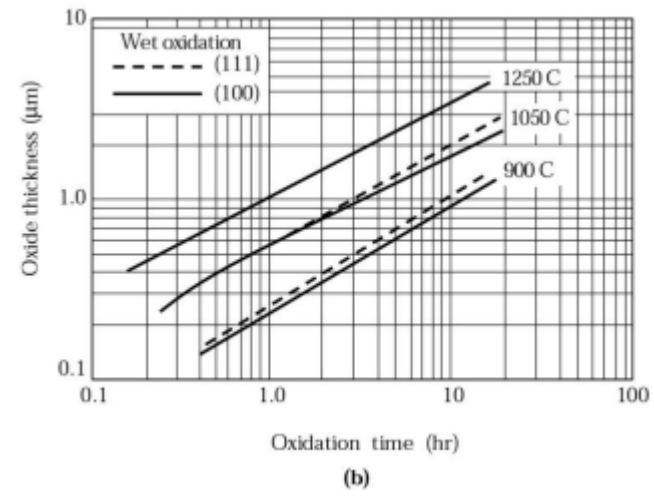
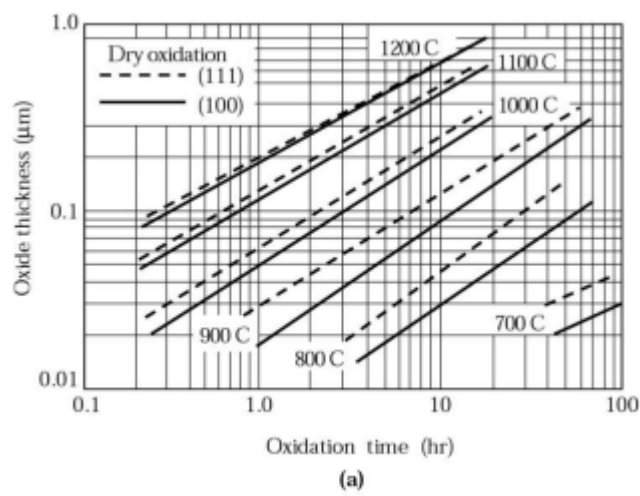
Wet oxidation :

High growth rate

Film quality is not good

Electrically not bad

>20nm , Mask or passivation



Various Pressure

(Oxide thickness with various partial pressure)

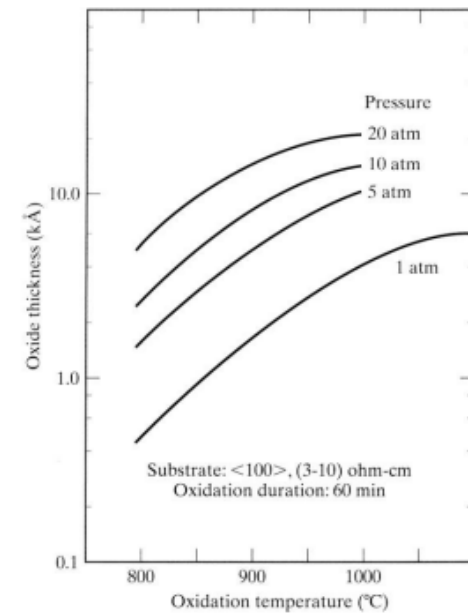
pressure가 높다 = oxidizing species가 많다

Thin Oxide Growth

Slow growth : Good quality and reproducibility

1. Dry oxidation
2. Low temperature (800C ~900C)
3. Low partial pressure of oxygen

—> 상당히 느리지만 quality 좋은 oxidation의 조건!



Process Parameters (요약)

1) Temperature, Time, Initial oxide thickness (major parameter)

Conditions	Oxidation rate	Oxidation thickness
Lower Temp. Thin oxide	Reaction-limited (linear rate)	$t_{ox} \propto \text{Time}$
Higher Temp. Thick oxide	Diffusion-limited (parabolic rate)	$t_{ox} \propto \text{Time}^{1/2}$

2) pressure

- at low temperature (reaction limited)
- pressure ↑, grow rate ↑

3) Crystal orientation

- $R(111) > R(100)$
- # of silicon bonds to be broken at surface

4) Impurity / Dopant type

- n-type (linear rate), p-type (parabolic rate)
—> dopant redistribution during oxidation process (segregation coefficient & diffusion coefficient)

5) Impurity / Dopant / Defect Concentration

- High dopant concentration
—> point defects exist (voids, interstitial atoms)
—> increase surface reaction rate

impurity의 영향은 minor함. 산소/물이 Si 원자와 만날 chance가 높아질수록 growth rate가 높다고 생각하면 됨

Characterization for Oxide Thickness

- 산화층의 두께에 따라 색이 달라짐.
같은 색이더라도 우리가 target한 두께를 알고 있으니 구별은 됨.
색을 통해 두께를 예측할 수 있음. —> 그걸 할 수 있는 기계가 그림의 ellipsometry
- profilometry는 tip의 높낮이 변화를 통해 두께, 단차 측정함. 큰 scale이면 α -step, nano scale이면 AFM 사용

