

# 5

## Thermal Processes

# 目標

- 列舉四種加熱製程
- 描述在IC製造中的加熱製程
- 描述加熱氧化製程
- 說明在高溫爐下RTP(快速加熱製程)的優點
- 使你的工作或產品與半導體製程做連結

# 題綱

- 導論
- 硬體
- 氧化(Oxidation)  
擴散(Diffusion)
- 退火(Annealing)
  - 佈植後
  - 退火
  - 再流動(Reflow)
- 高溫 CVD
  - Epi
  - Poly
  - 氮化矽
- RTP
  - (RTA)
  - RTP
- 未來趨勢

# 定義

- 加熱製程指在大於鋁熔點的高溫下所作之製程
- 使用在 front-end 半導體製程，通常在稱做擴散爐的高溫爐中

# 導論

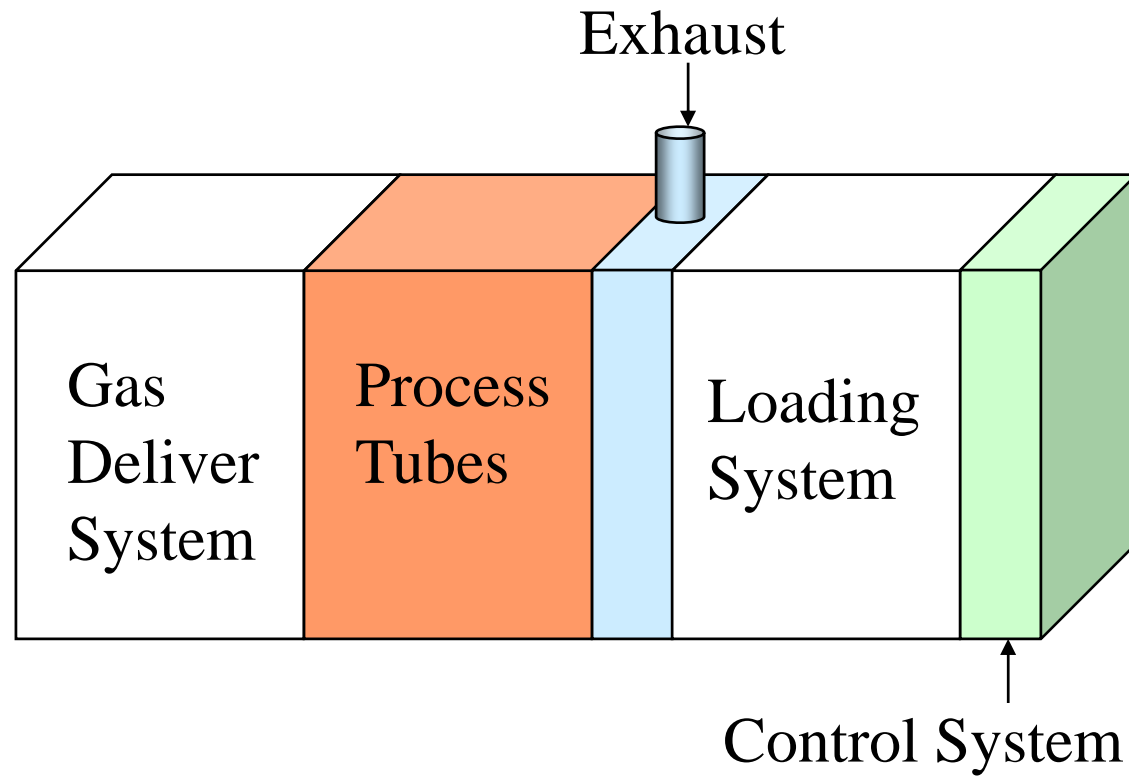
- 矽材料的優點
  - 蘊藏豐富且低廉
  - 穩定而有用的氧化物
- 在IC製造的先期，氧化及擴散是其製程的基幹

# 硬體概要

# 水平式高溫爐(Horizontal Furnace)

- 在加熱製程中一般使用到的工具
- 常被稱為擴散爐(*diffusion furnace*)
- 石英管裡內藏陶製襯裡叫 muffle
- 多爐管系統

# 水平式高溫爐的佈局圖





# 氧化

- 乾氧化
- 水蒸氣來源
  - 氣泡式
  - 沖洗式
- $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- 氯來源，減低在閘極氧化中的移動離子
  - 無水氯化氫HCl
  - Trichloroethylene (TCE), Trichloroethane (TCA)

# 擴散

- P-type摻雜物
  - $B_2H_6$ , 帶燒焦的巧克力和太甜的味道
  - 有毒的；可燃的；爆炸性的
- N-type摻雜物
  - $PH_3$ , 腐爛魚的味道
  - $AsH_3$ , 大蒜味
  - 有毒的；可燃的；爆炸性的
- 淨化氣體
  - $N_2$

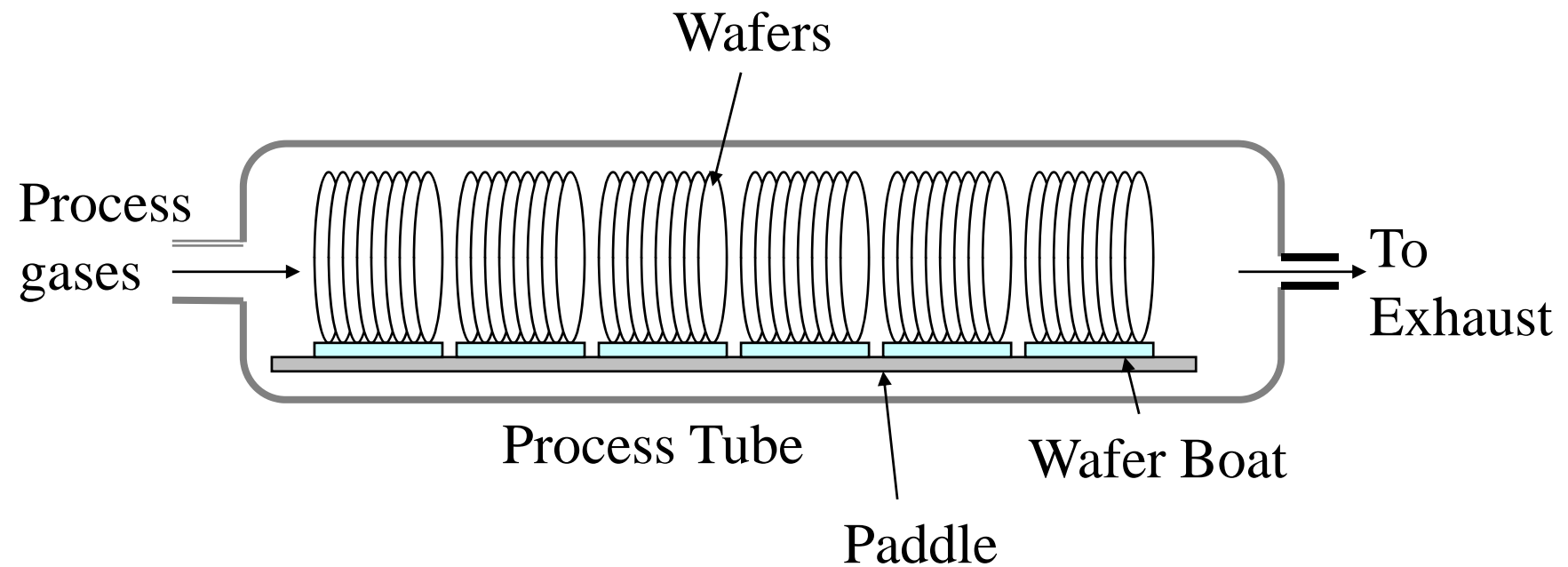
# 沉積

- 多晶矽和氮化物沉積的矽來源：
  - 矽烷， $\text{SiH}_4$ ， pyrophoric， 有毒的和爆炸性的
  - DCS，  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ， 易燃的
- 氮化物沉積的氮來源：
  - $\text{NH}_3$ , 刺激性的, 難聞的氣味, 腐蝕性的
- 多晶矽沉積的摻雜物
  - $\text{B}_2\text{H}_6$ ,  $\text{PH}_3$  and  $\text{AsH}_3$
- 吹除淨化氣體
  - $\text{N}_2$

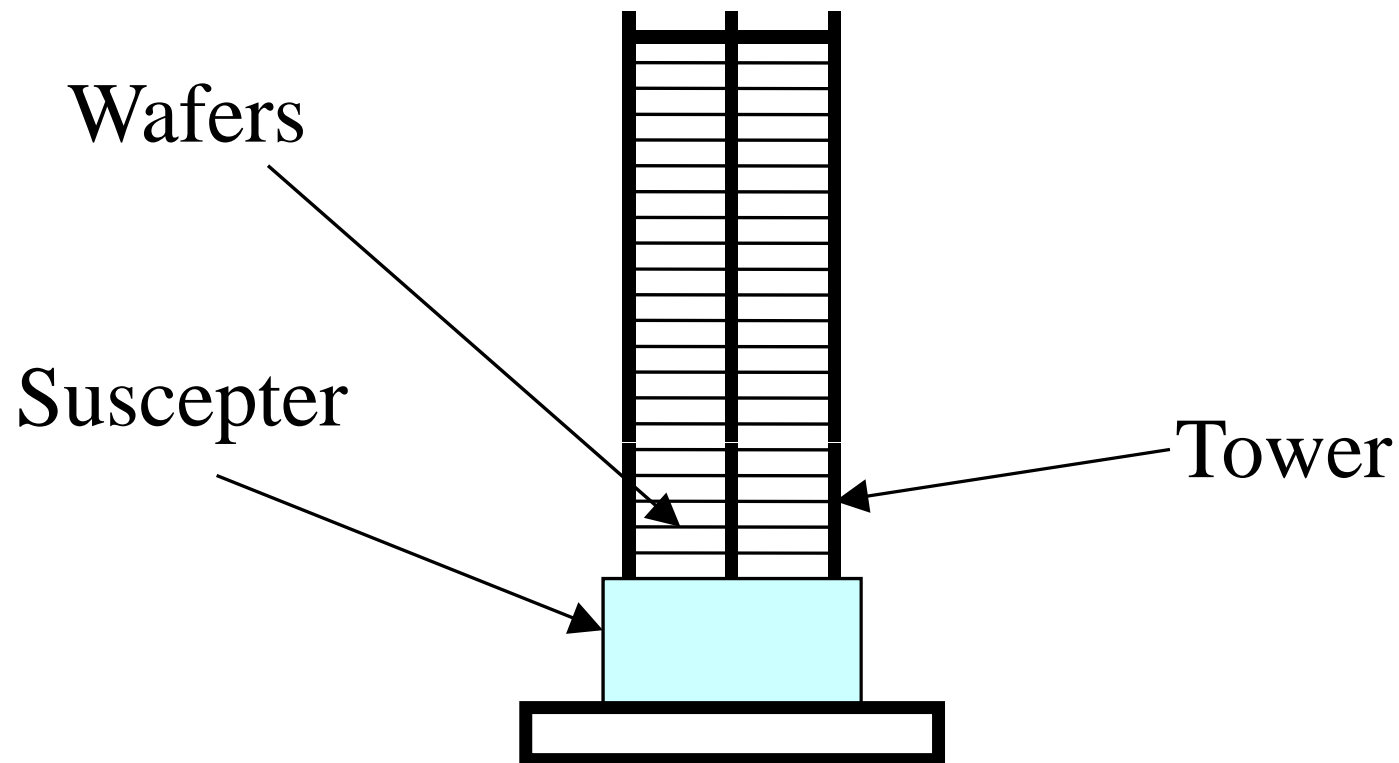
# 退火

- 高純度  $N_2$ ，廣泛使用在退火製程
- $H_2O$  有時被使用環繞在PSG或BPSG再流動中
- 在STI形成過程中氧氣被使用在USG退火上
- 低等級的氮氣使用在閒置時的吹除淨化

# 晶圓裝載，水平式系統



# 晶圓裝載，垂直式系統



# 溫度控制

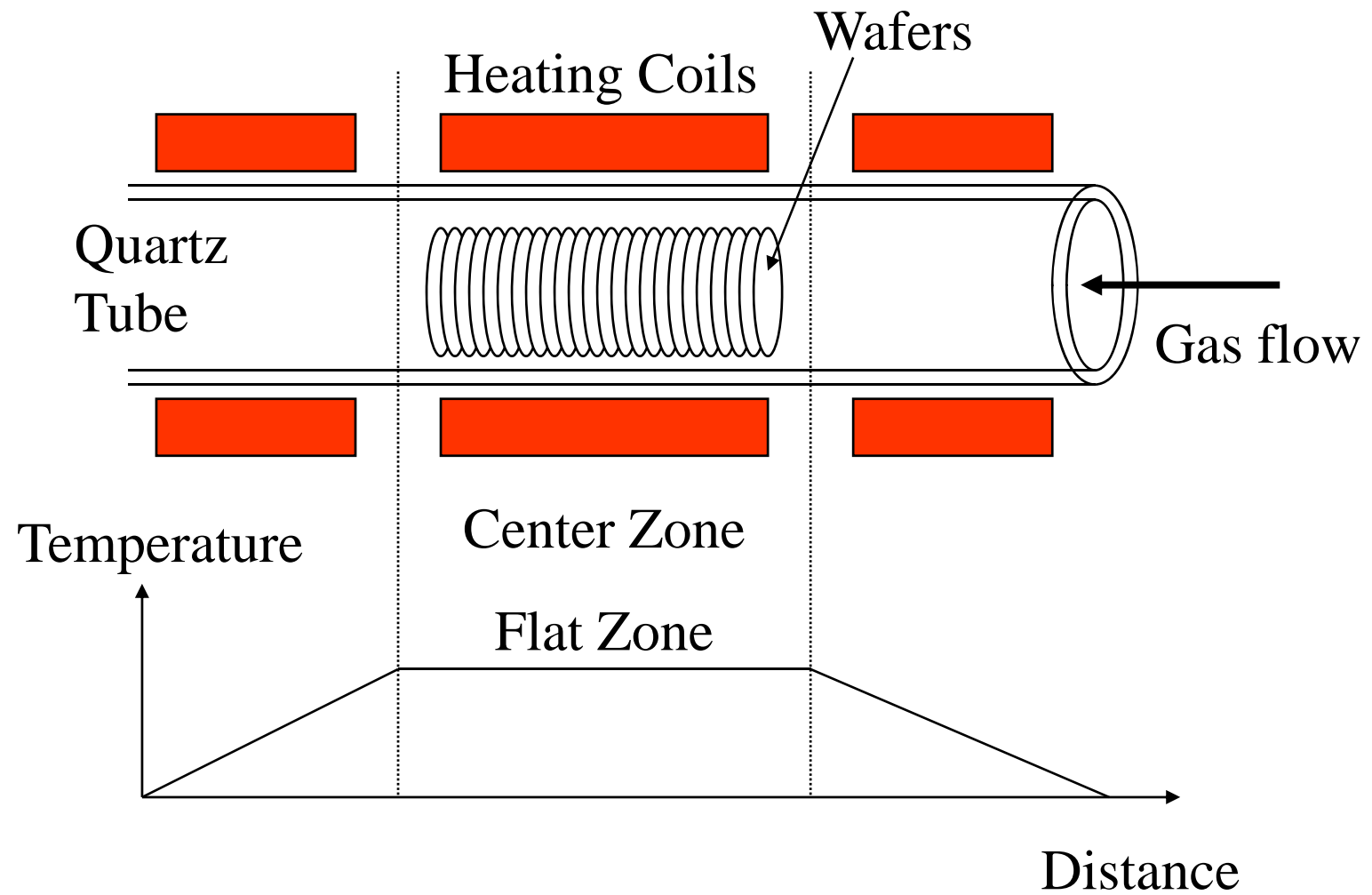
- 加熱製程對溫度是十分敏感的
- 精準的溫度控制是必要的
- $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  at central zone
- $\pm 0.05\%$  at  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ !

# 反應室

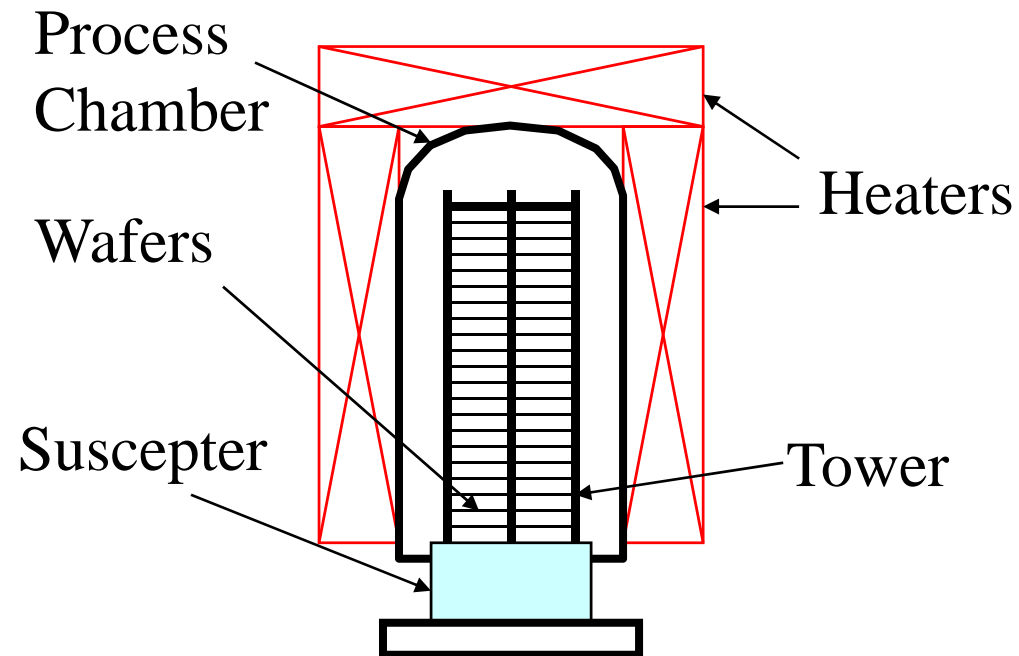
- 高純度的石英
  - 在高溫下十分穩定
  - 基本的清潔度
- 缺點
  - 易脆的
  - 具一些金屬離子
  - 無法阻隔鈉原子
  - 微小碎片 at  $> 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 去玻璃化(*devitrification*)



# 水平式高溫爐



# 垂直式高溫爐；加工位置



# 石英爐管 (Quartz Tube)

- Electric Fused
- Flame Fused
- Both of them as trace amount of metals
- Flame-fused tubes produced devices have better characteristics.

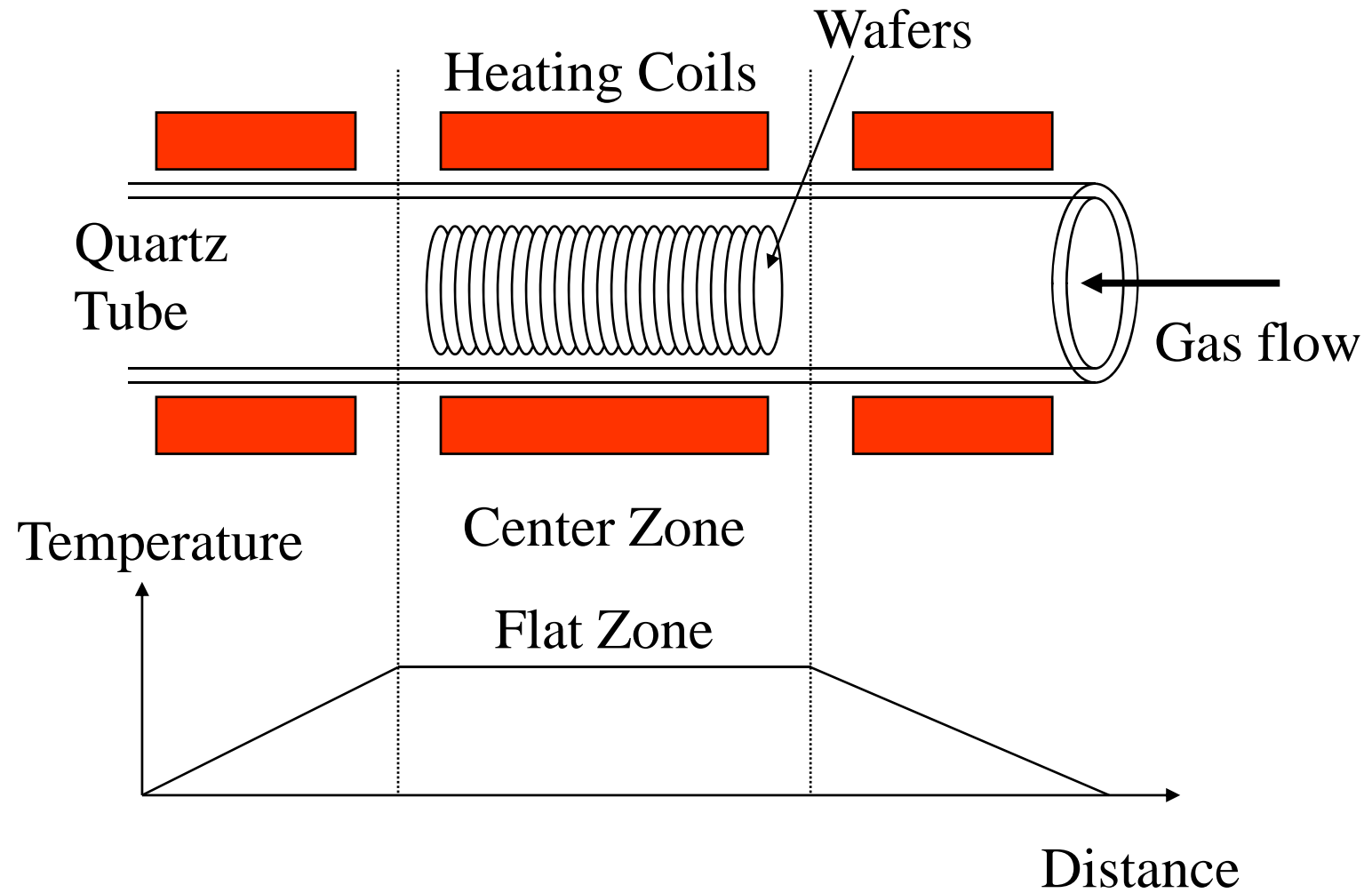
# 石英爐管清潔

- 非常重要，特別在沉積高溫爐中預防微粒污染
- 非即時清潔
  - HF
  - 每次移除一層薄的石英
  - 有限的爐管壽命
- 即時清潔
  - 爐管中有電漿產生器
  - $\text{NF}_3$  中解離的氟離子蝕除污染物

# 碳化矽爐管

- 優點
  - 較高的熱穩定度
  - 較佳的金屬離子屏蔽
- 缺點
  - 笨重的
  - 昂貴的

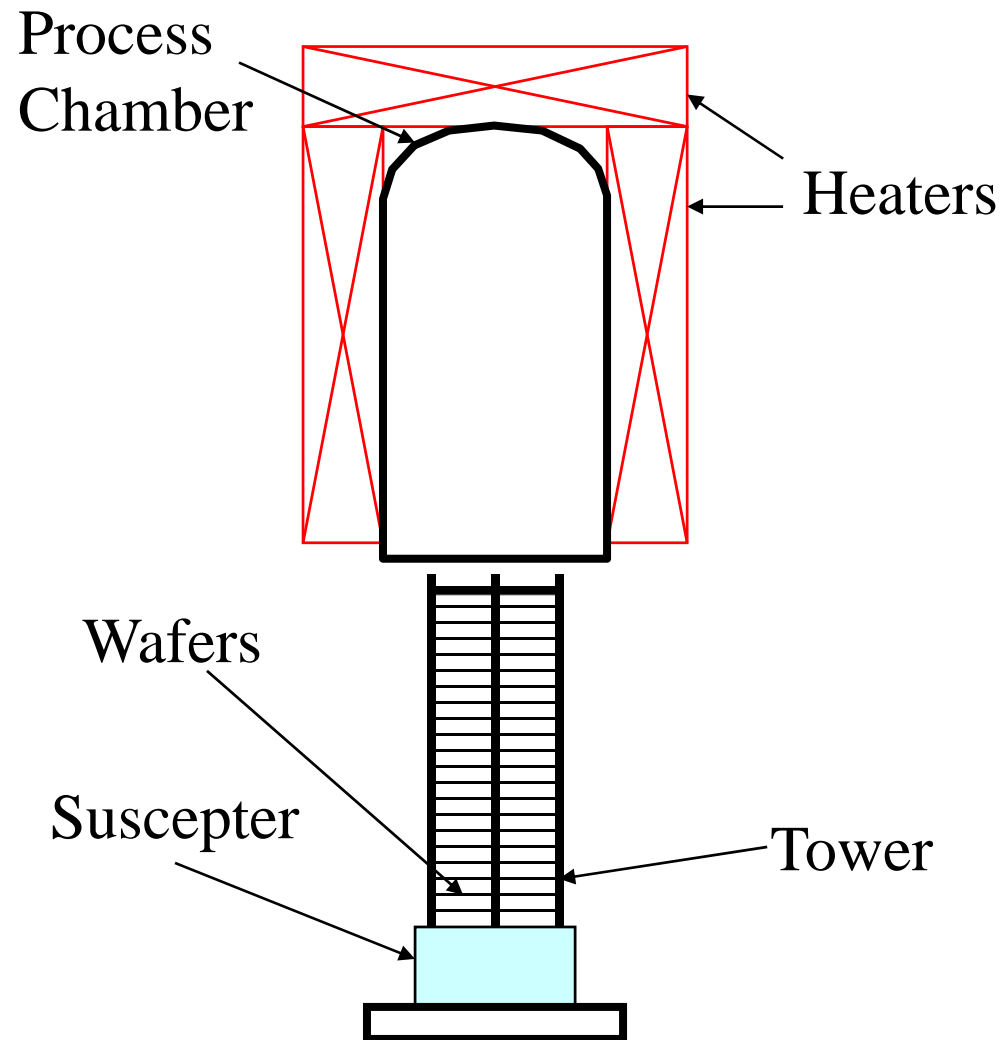
# 水平式高溫爐



# 垂直式高溫爐(Vertical Furnaces )

- 放置製程爐管呈垂直方向
- 佔地面積小
- 較佳的污染物控制
- 較佳的晶圓處理
- 低維修成本

# 垂直式高溫爐：裝載及卸載位置





# 較小的佔地面積

- 無塵室地板面積是非常昂貴的
- 小的佔地面積能減低成本cost of ownership (COO)

# 較佳的污染物控制

- 氣流由上而下
- 流線的氣流控制有較佳的均勻性
- 微粒很少落至中央的晶圓

# 較佳的晶圓處理

- 在處理大量大直徑的晶圓時，水平式系統的承載架赴載高扭矩
- 無扭矩在垂直式系統的晶圓塔

# 硬體摘要

- 高溫爐廣泛使用在加熱製程上
- 高溫爐通常由控制系統；氣體輸送系統；製程爐管及反應室；晶圓裝載系統和排放系統所組成
- 垂直室高溫爐因其佔地面積少，較佳的污染物控制及低維修費用
- 精確的溫度和均勻性是加熱製程能成功的必要條件

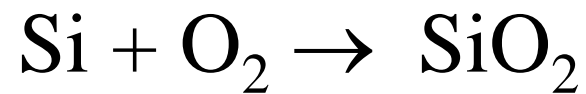
氧化

# 氧化

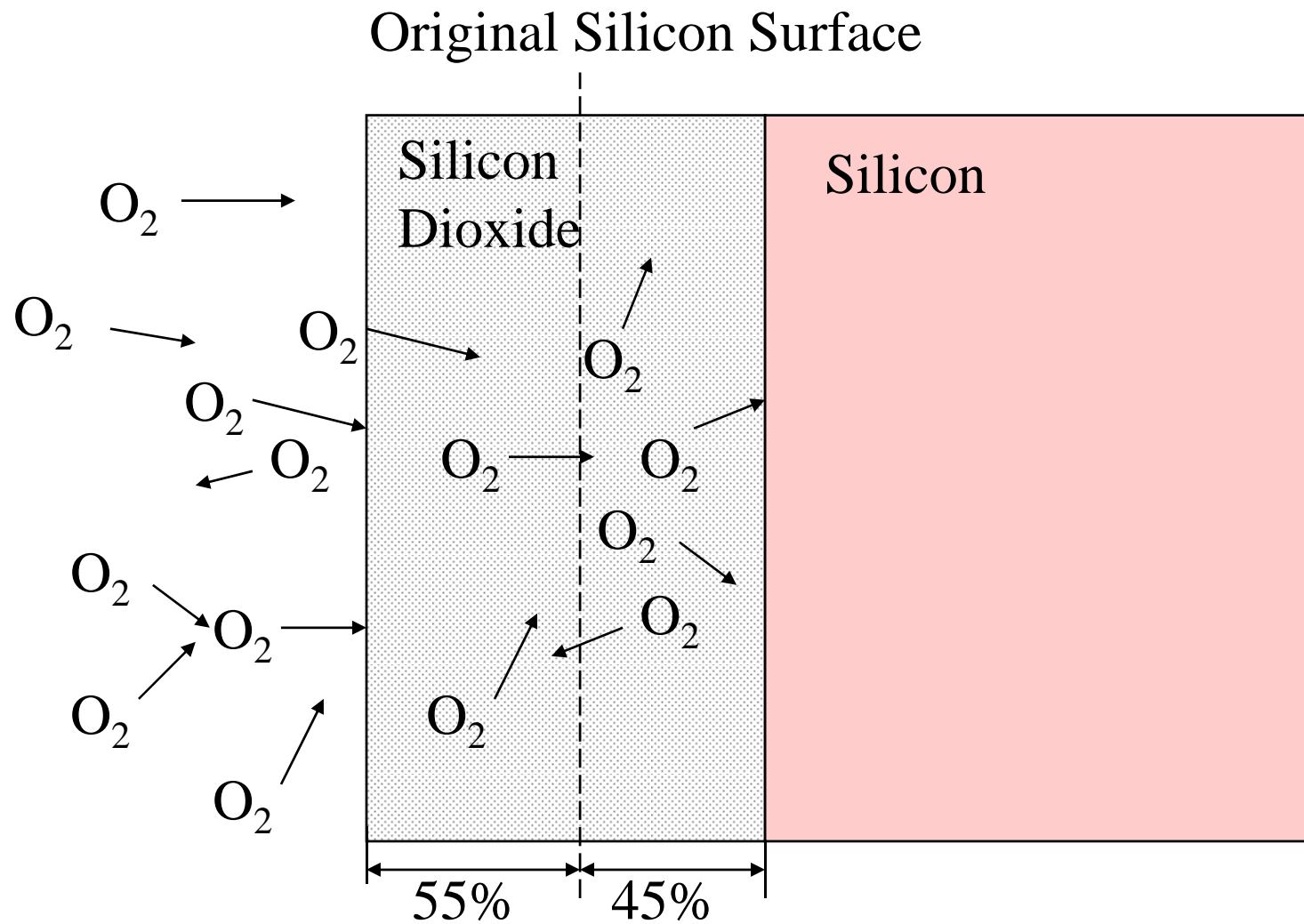
- 導論
- 應用
- 物理過程
- 製程
- 系統
- 快速加熱製程（RTO）

# 導論

- 矽與氧反應
- 穩定的氧化物
- 廣泛地使用在 IC製造上

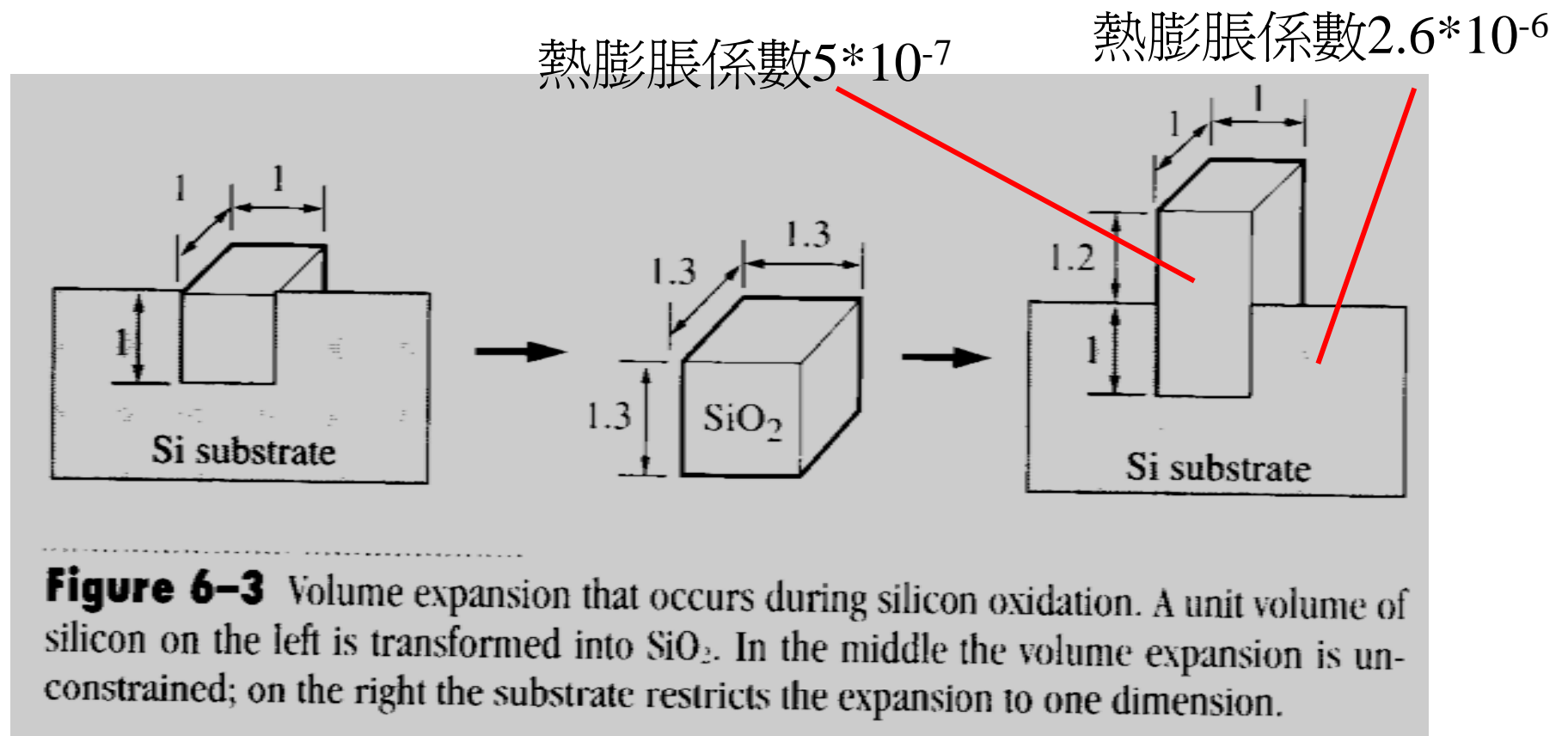


# 氧化作用

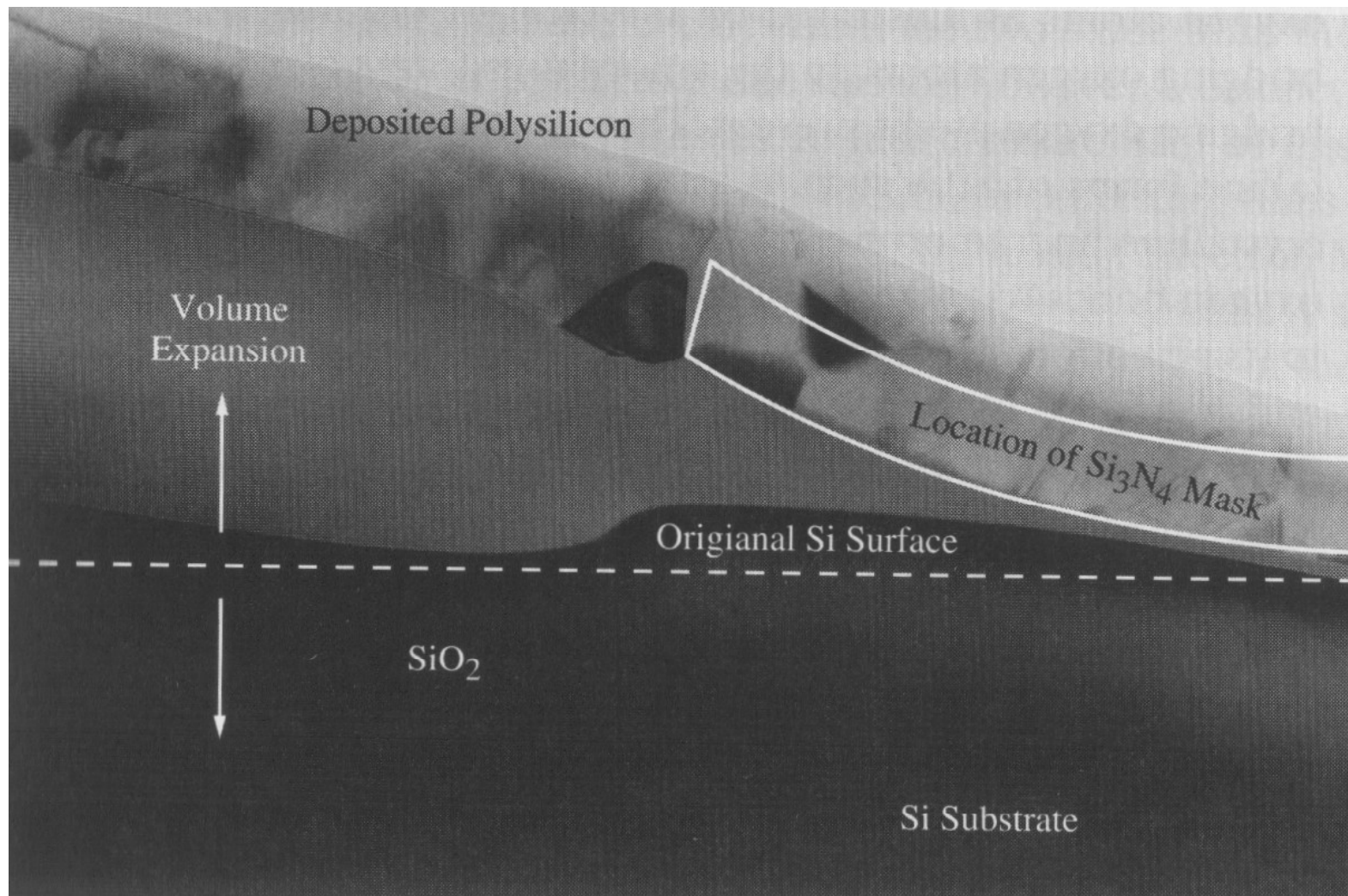




# 氧化作用



# 氧化作用



# 氧化層的電性

影響熱氧化層電性的電荷來源有：

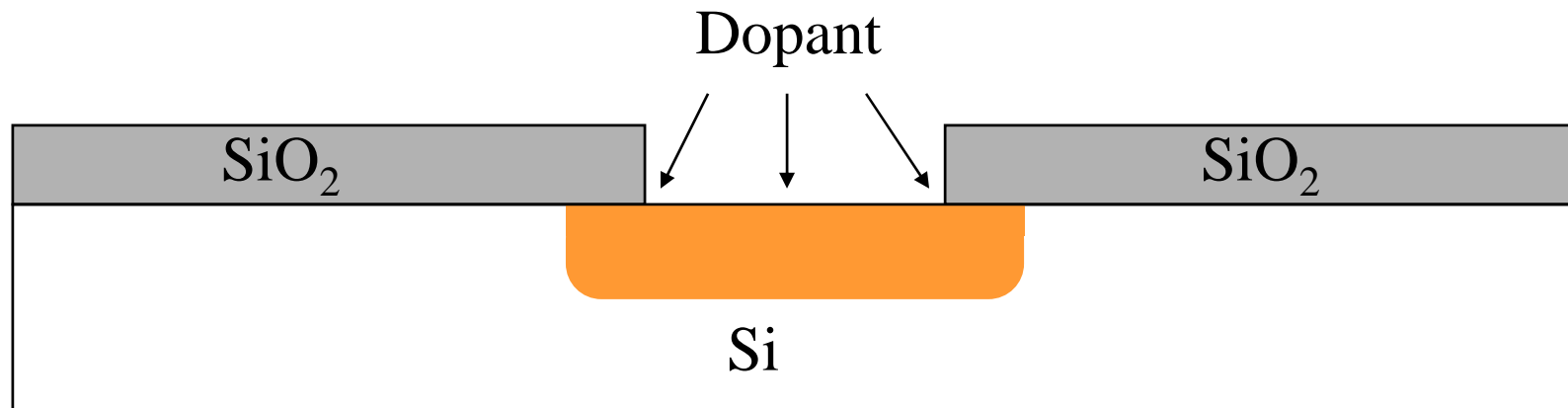
- (1) 界面態階 (Interface State)
- (2) 固定氧化層電荷 (Fix Oxide Charge)
- (3) 移動性離子電荷 (Mobile Ion Charge)
- (4) 氧化層阻陷電荷 (Oxide Trapped Charge)

# 氧化之應用

- 擴散的遮蔽層 (Diffusion Masking Layer)
- 表面的鈍化
  - 屏蔽氧化層 (Screen oxide) ， 襯墊氧化層 (pad oxide) ， 阻擋氧化層 (barrier oxide)
- 隔離  
場區氧化 (Field oxide) 和矽的局部氧化 (LOCOS)
- 閘極氧化

# 擴散遮蔽

- 摻雜原子硼 (B)和磷 (P)在二氧化矽的擴散速度遠低於在單晶矽中
- $\text{SiO}_2$  能當做擴散的遮蔽層使用



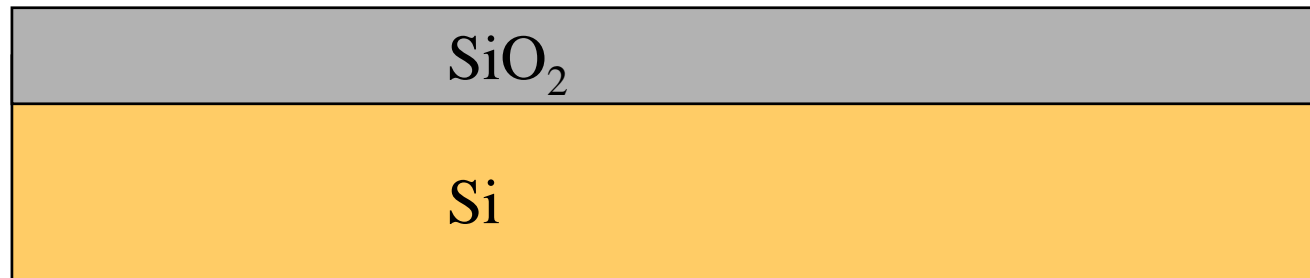
# 應用:表面鈍化

襯墊氧化層

屏蔽氧化層

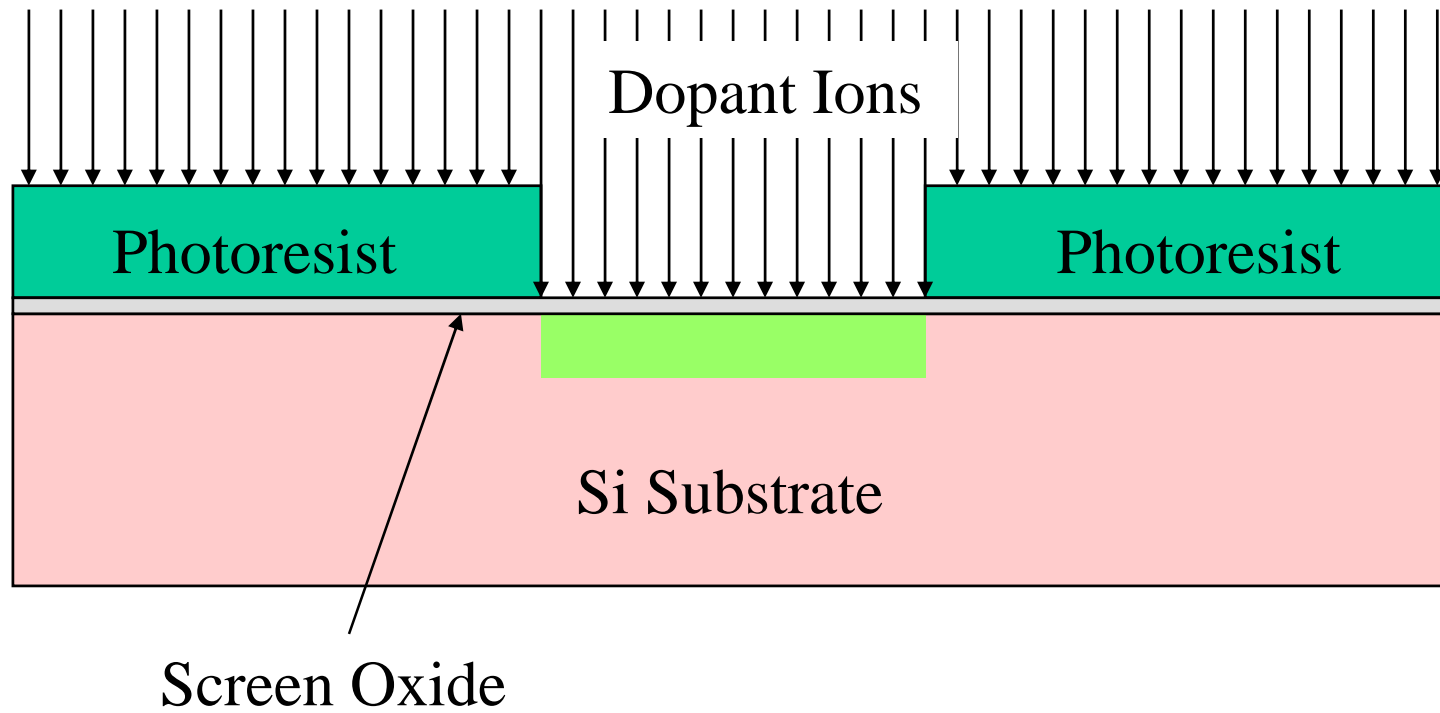
犧牲氧化層(Sacrificial Oxide)

阻擋氧化層

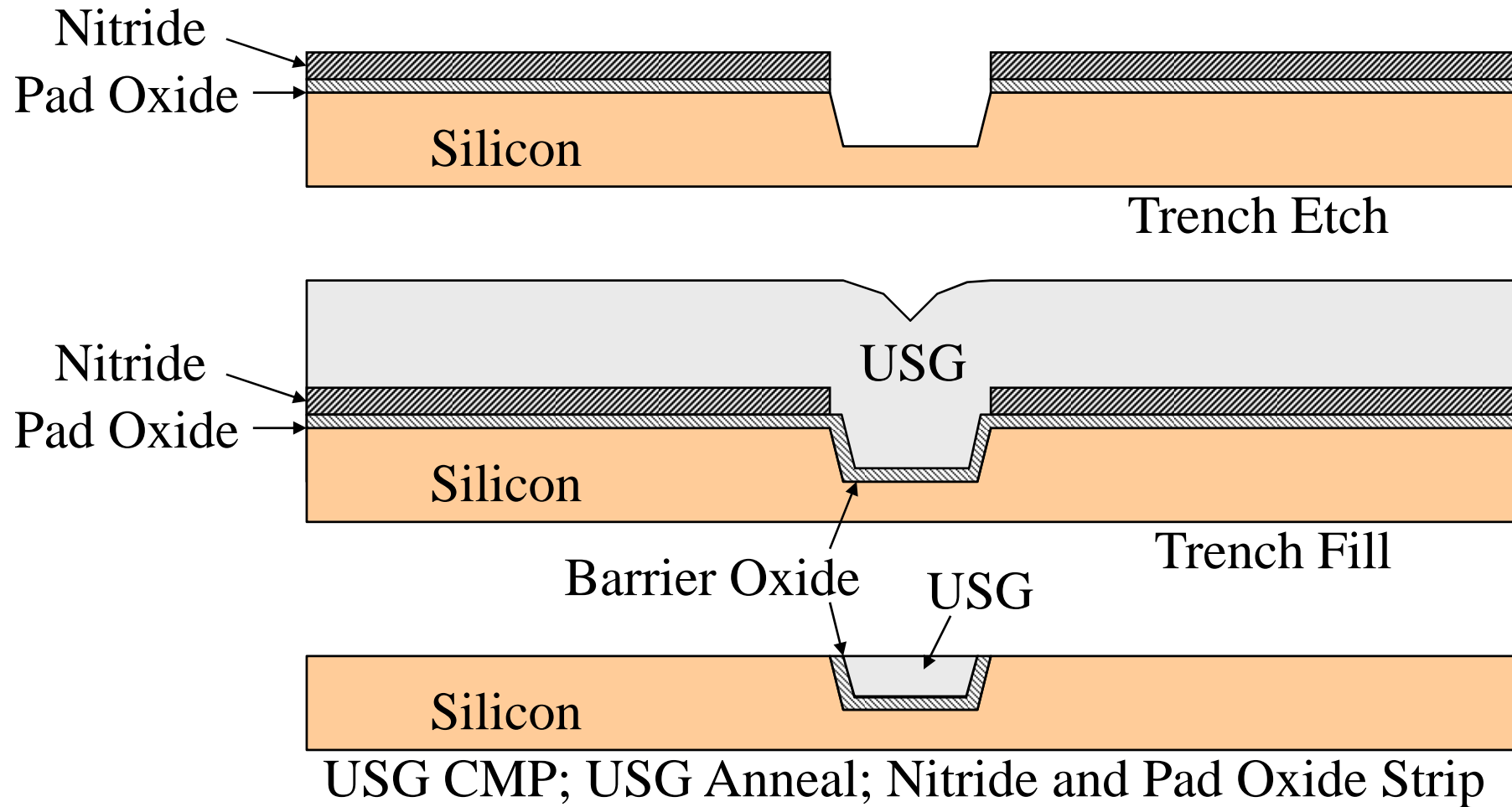


通常薄氧化層 (~150Å) 去預防因污染及過度應力引起的矽缺陷

# 屏蔽氧化層



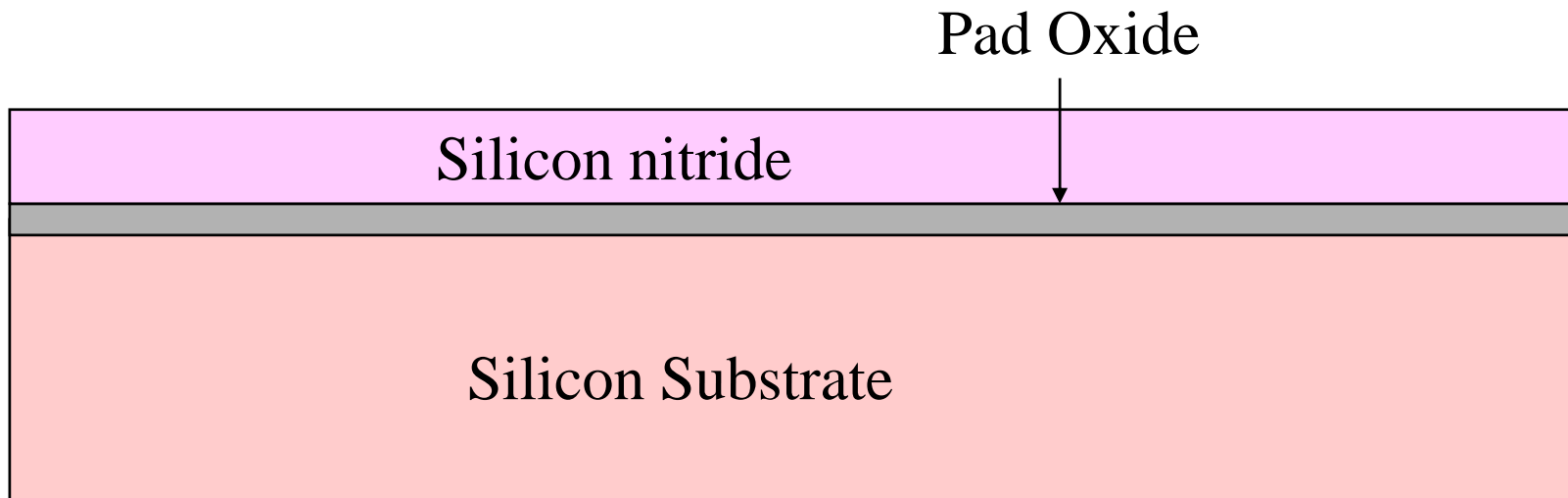
# 在STI 製程下的襯墊氧化層和阻擋氧化層





# 應用:襯墊氧化層

- 減緩因氮化物的強大拉應力
- 預防因應力引起的矽缺陷



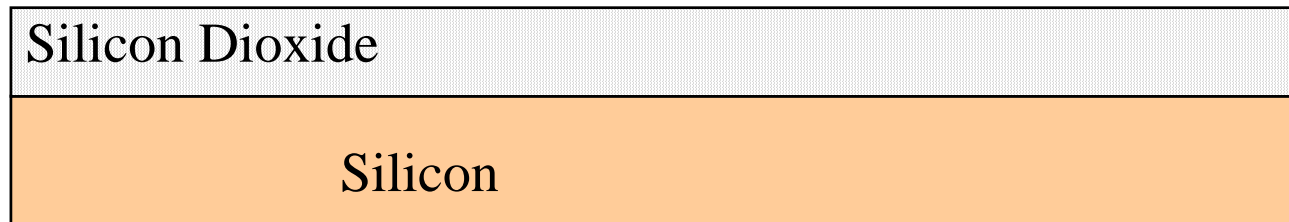
# 應用:元件隔離

- 相鄰元件的電性絕緣
- 全區覆蓋式氧化物 (Blanket field oxide)
- 矽之局部氧化Local oxidation of silicon (LOCOS)
- 厚的氧化層，usually 3,000 to 10,000 Å

# 全區覆蓋式氧化物隔離

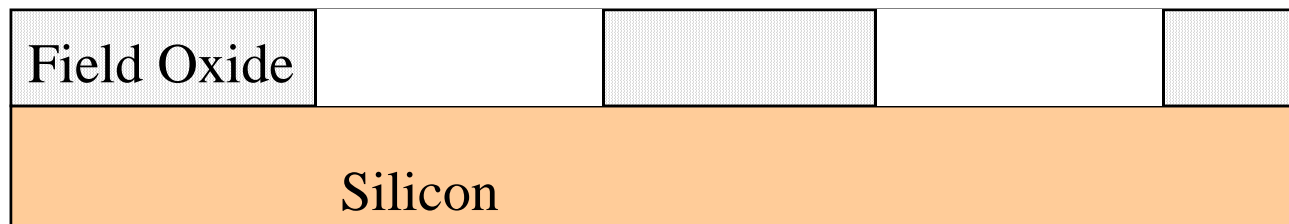


**Wafer Clean**



**Activation Area**

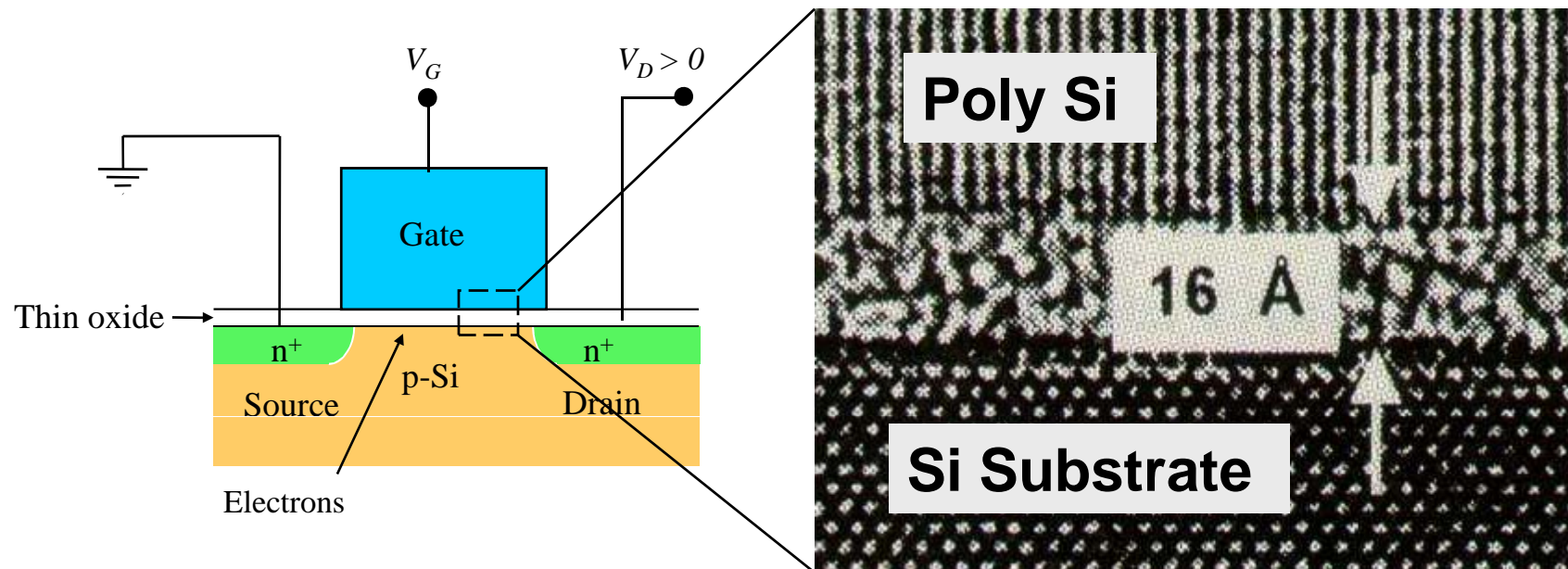
**Field Oxidation**



**Oxide Etch**

# 應用:元件介電質

- 閘極氧化: 最薄及重要的一層
- 電容器的介電質



# 氧化前的晶圓清洗

- 微粒狀物質
- 有機污染物
- 無機污染物
- 原生氧化層

# RCA 清洗

- 由Kern 和 Puotinen 在 1960 年所發展的RCA
- 在IC製造中最常使用的清洗步驟
- SC-1--  $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  以 1:1:5 至 1:2:7 的比率在 70 到 80 °C 去移除有機污染物
- SC-2--  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  以 1:1:6 至 1:2:8 的比率在 70 到 80 °C去移除無機污染物
- DI water 沖洗
- HF 浸泡或 HF 蒸氣蝕刻移除原生氧化層

# 氧化前的晶圓清洗- 微粒移除

- 高純度去離子水 (DI) 或  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$  伴隨 DI 沖洗
- 高壓擦洗或浸泡在高熱浸泡櫃中；經由沖洗，旋乾或烘乾 (100 to 125 °C)

# 氧化前的晶圓清洗- 有機物移除

- 強氧化劑移除有機物
- $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$  或  $\text{NH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2$  伴隨 DI 清洗
- 高壓擦洗或浸泡在高熱浸泡櫃中；經由沖洗，旋乾或烘乾 (100 to 125 °C)



# 氧化前的晶圓清洗- 無機物移除

- HCl:H<sub>2</sub>O.
- 浸泡在高熱浸泡櫃中；經由沖洗，旋乾或烘乾 (100 to 125 °C)

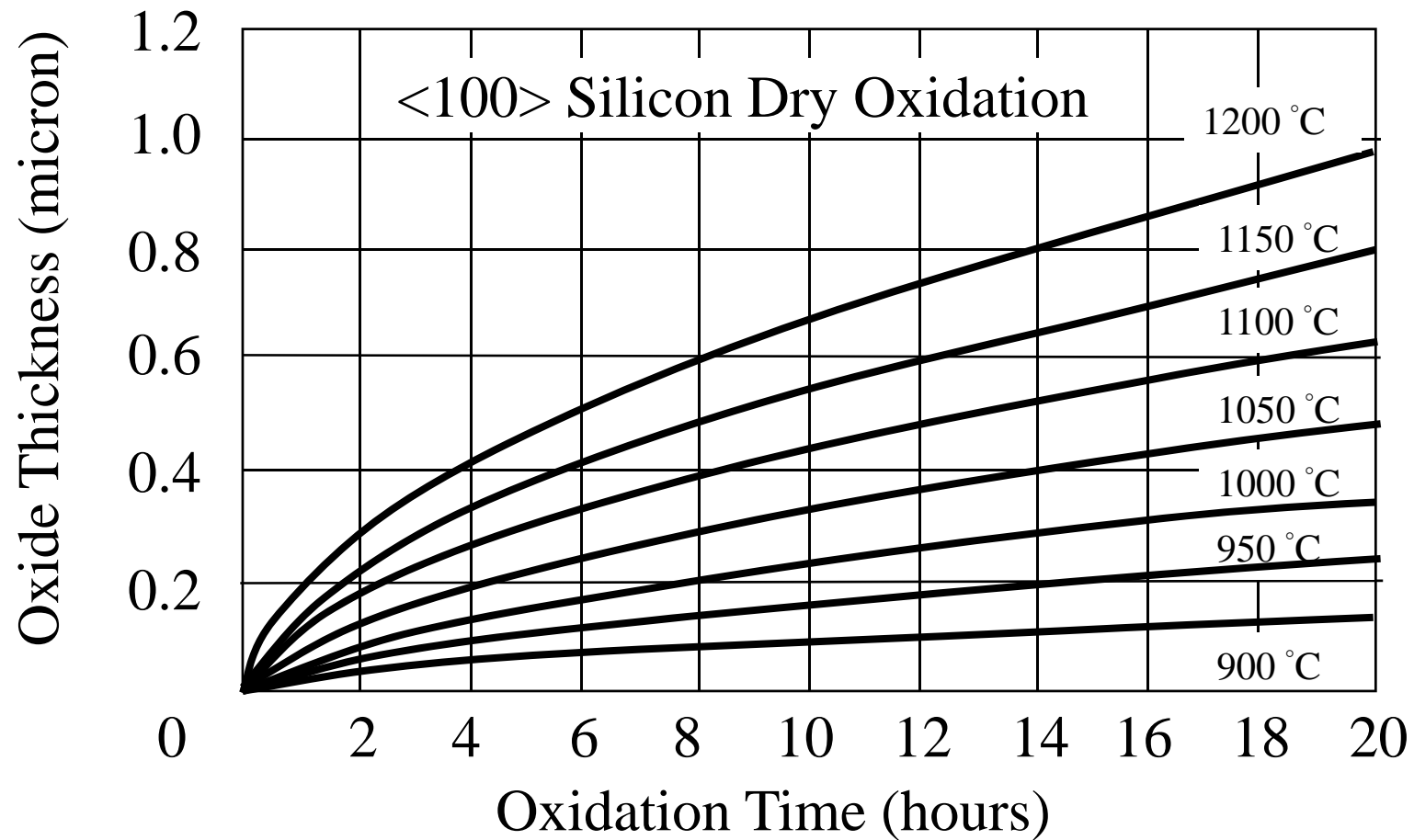
# 氧化前的晶圓清洗- 原生氧化層移除

- HF:H<sub>2</sub>O.
- 浸泡在高熱浸泡櫃或單晶蒸氣蝕刻；經由沖洗，旋乾或烘乾 (100 to 125 °C)

# 氧化作用

- $\text{Si} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SiO}_2$
- 氧氣由空氣取得
- 矽由基底取得
- 氧氣擴散穿越已存在的二氧化矽層與矽反應
- 越厚的薄膜，則越低的成長速率

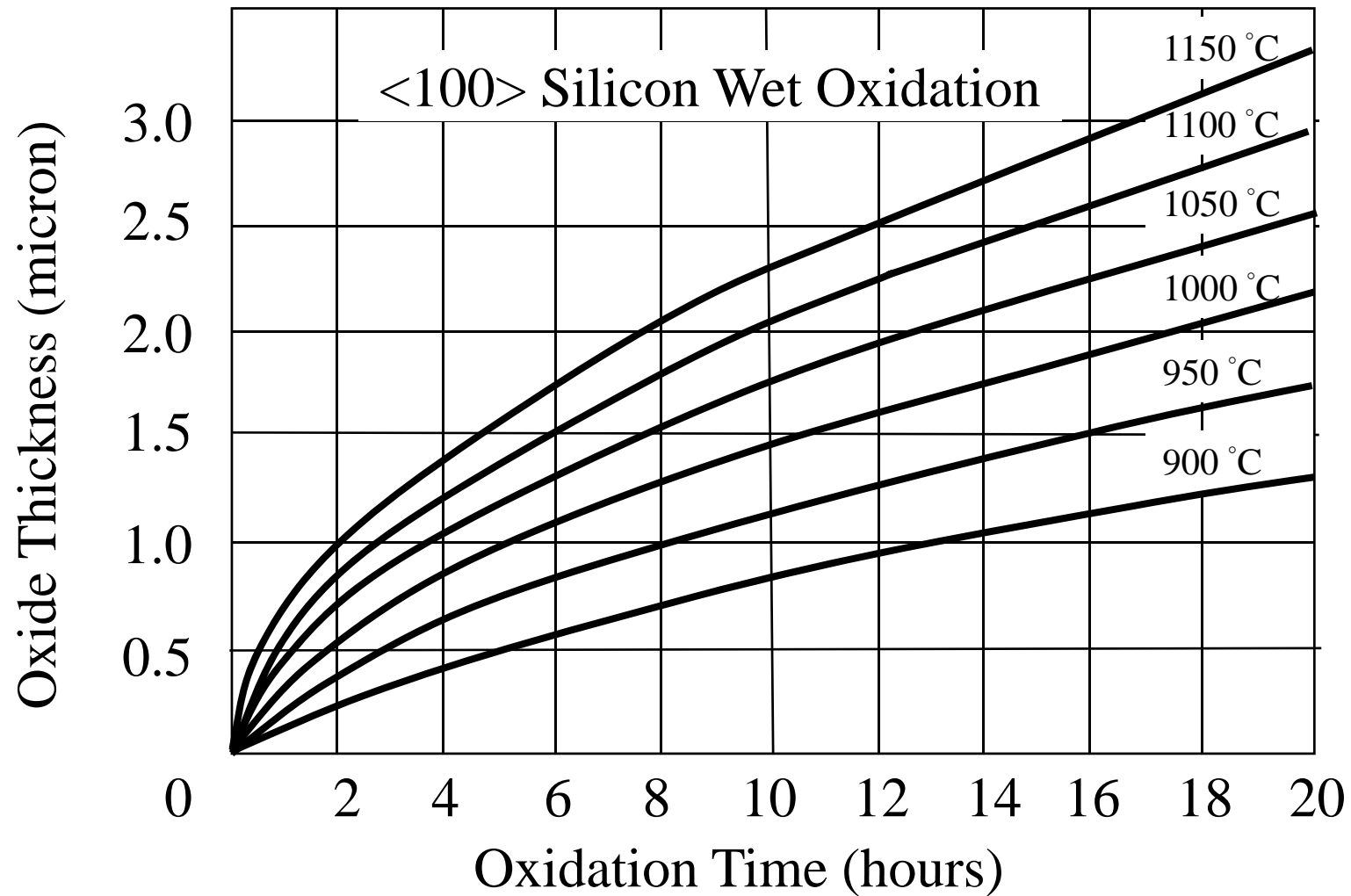
# <100> 矽的乾氧化速率



# 濕氧化

- $\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2$
- 在高溫下 $\text{H}_2\text{O}$  分離成 H and H-O
- H-O 在  $\text{SiO}_2$  擴散比  $\text{O}_2$  快速
- 濕氧化比乾氧化的成長率還高

# <100> 矽的濕氧化速率



# 氧化速率

- 溫度
- 化學，濕氧化或乾氧化
- 厚度
- 壓力
- 晶圓方向 ( $\langle 100 \rangle$  vs.  $\langle 111 \rangle$ )
- 矽的摻雜物

# 氧化速率- 溫度

- 氧化速率對於溫度十分敏感(呈指數關係)
- 較高的溫度具較快的氧化速率
- 愈高的溫度下，矽和氧的化學反應速率愈快以及愈高的氧擴散率在二氧化矽中



# 氧化速率- 晶圓方向

- $\langle 111 \rangle$  表面比 $\langle 100 \rangle$  表面具高的氧化速率
- 具更多的矽原子在表面上

# 氧化速率- 摻雜物集中

- 摻雜原子與集中
- 高度磷摻雜在矽中具較高的成長速率，  
低密集薄膜和蝕刻快速
- 一般重度摻雜區域較低度摻雜區域成長  
的快
- 極顯著在線性區(薄氧化物)的氧化

# 氧化: 摻雜物 堆積效應與空乏效應 (Pile-up and Depletion Effects)

- N-type 摻雜物 (P, As, Sb) 在比在  $\text{SiO}_2$  具更高的可溶性，當  $\text{SiO}_2$  成長他們移向矽，這便稱為堆積效應或鏟雪機效應
- 硼趨向移去  $\text{SiO}_2$ ，這稱為空乏效應

# 氧化速率 差別性的氧化

- 越厚的氧化層薄膜，越慢的氧化速率
- 氧氣需要較多時間，去穿越已存的氧化層和基底的矽反應

# 氧化前的清洗

- 熱成長的  $\text{SiO}_2$  是非晶態的
- 趨向於交叉結合形成結晶
- 在自然界中， $\text{SiO}_2$  石英及石英砂存在
- 缺陷及微粒成爲成核點
- Crystallized  $\text{SiO}_2$  不具有遮蔽能力
- 須在氧化前清洗矽的表面

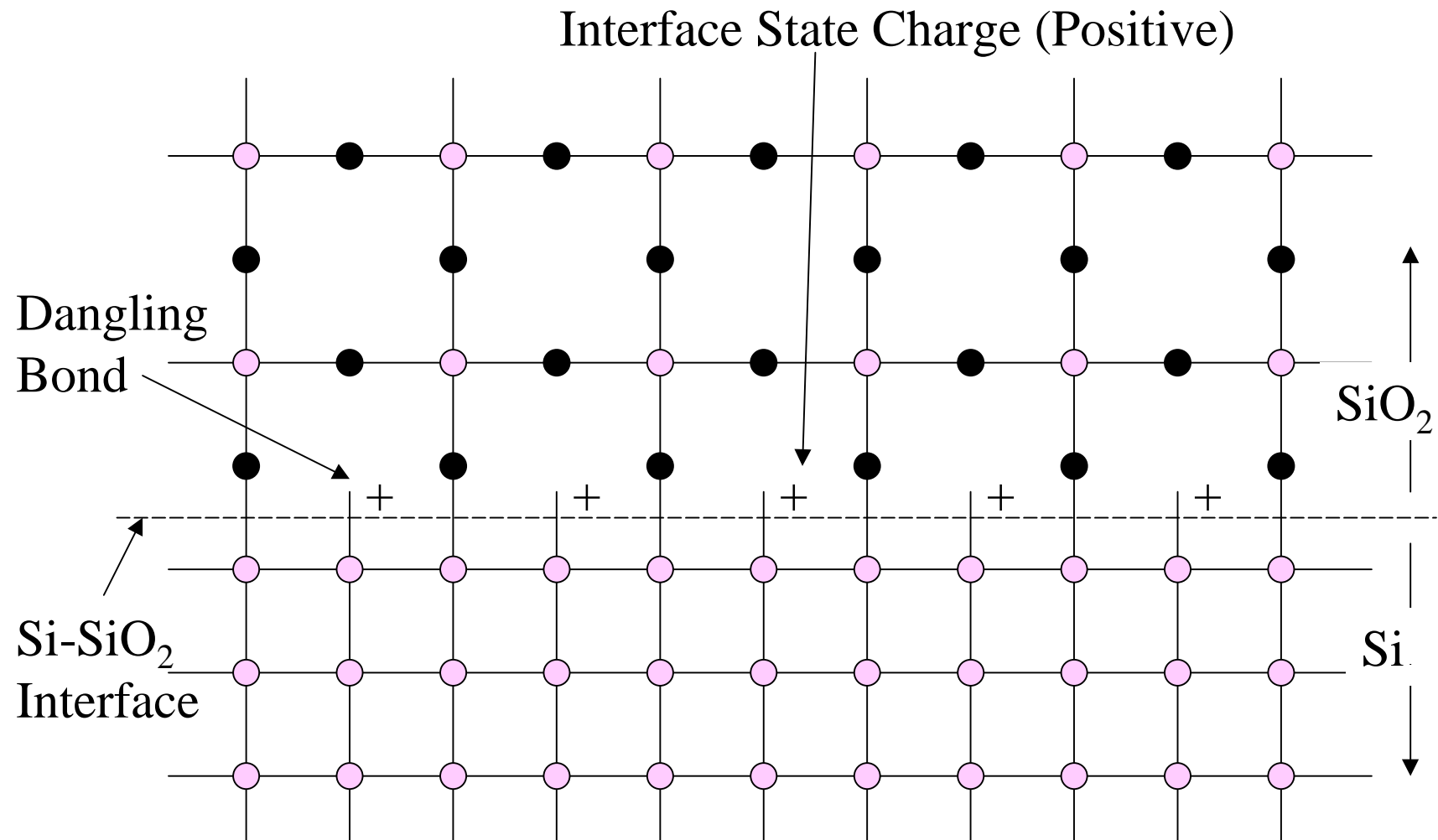
# 氧化製程

- 乾氧化，薄氧化層
  - 閘極氧化
  - 襯墊氧化層，屏蔽氧化層，犧牲氧化層等
- 濕氧化，厚氧化層
  - 場區氧化層
  - 擴散遮蔽氧化層

# 乾氧化

- 乾燥  $O_2$  是主要的製程氣體
- $HCl$  使用來為閘極氧化做移除移動離子
- 高純度  $N_2$  做製程吹除淨化氣體
- 低等級 $N_2$  做閒置時吹除淨化氣體

# 懸浮鍵及介面電荷





# 濕氧化步驟

- 快速，高生產量
- 厚氧化層，such as LOCOS
- 乾氧化具較高的品質

Process	Temperature	Film Thickness	Oxidation Time
Dry oxidation	1000 °C	1000 Å	~ 2 hours
Wet oxidation	1000 °C	1000 Å	~ 12 minutes

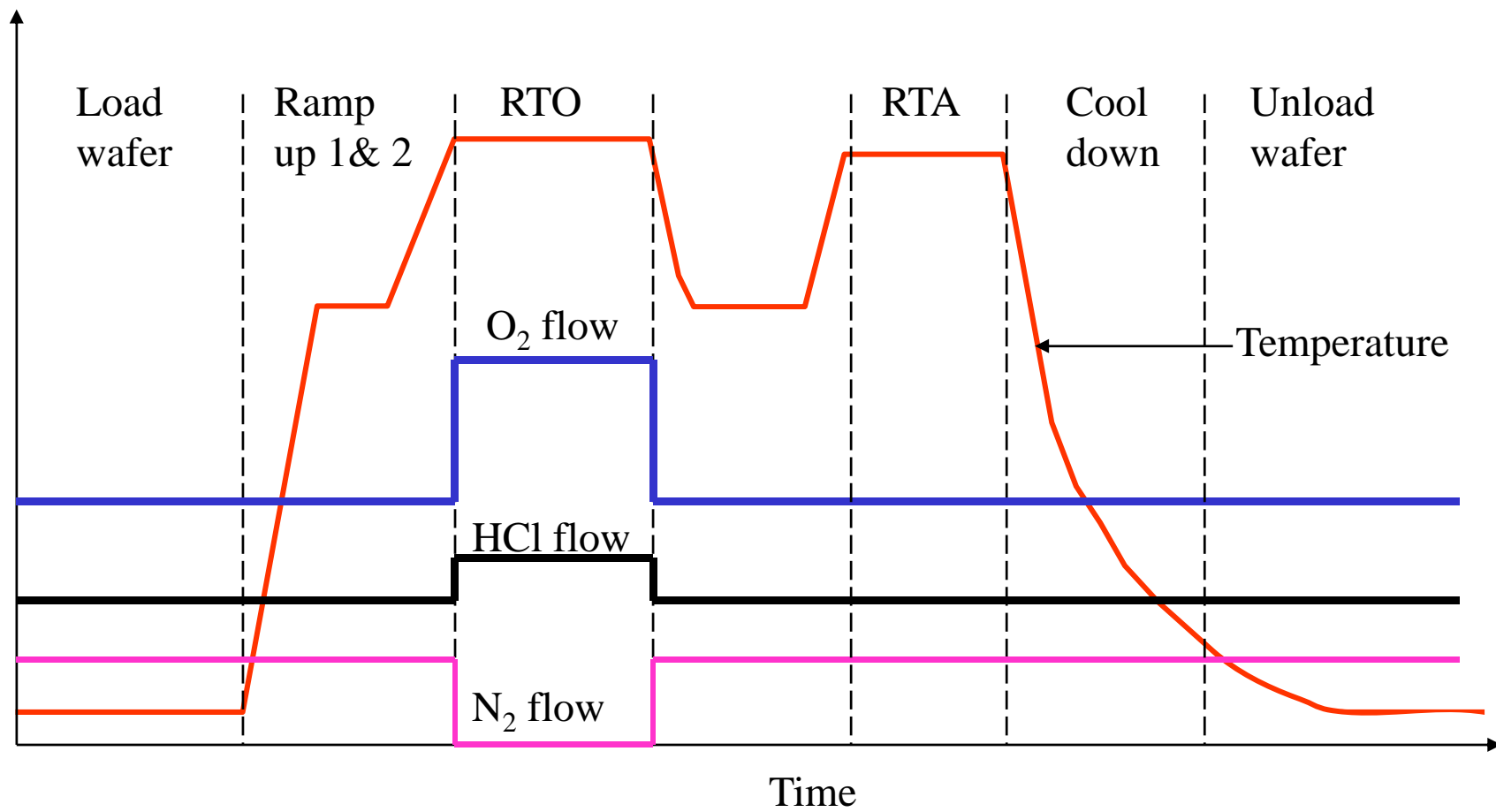
# 水蒸氣來源

- 煮沸式 (Boiler)
- 氣泡式 (Bubbler)
- 沖水式 (Flush)
- 燃燒式(Pyrogenic)

# 快速高溫氧化

- 用至次微米元件閘極氧化
- 非常薄的氧化薄膜， $< 30 \text{ \AA}$
- 需要非常好的溫度均勻性，WIW and WTW.
- RTO 使用來達到元件需求
- 目的：在高溫短時間內得到高品質的薄氧化層。

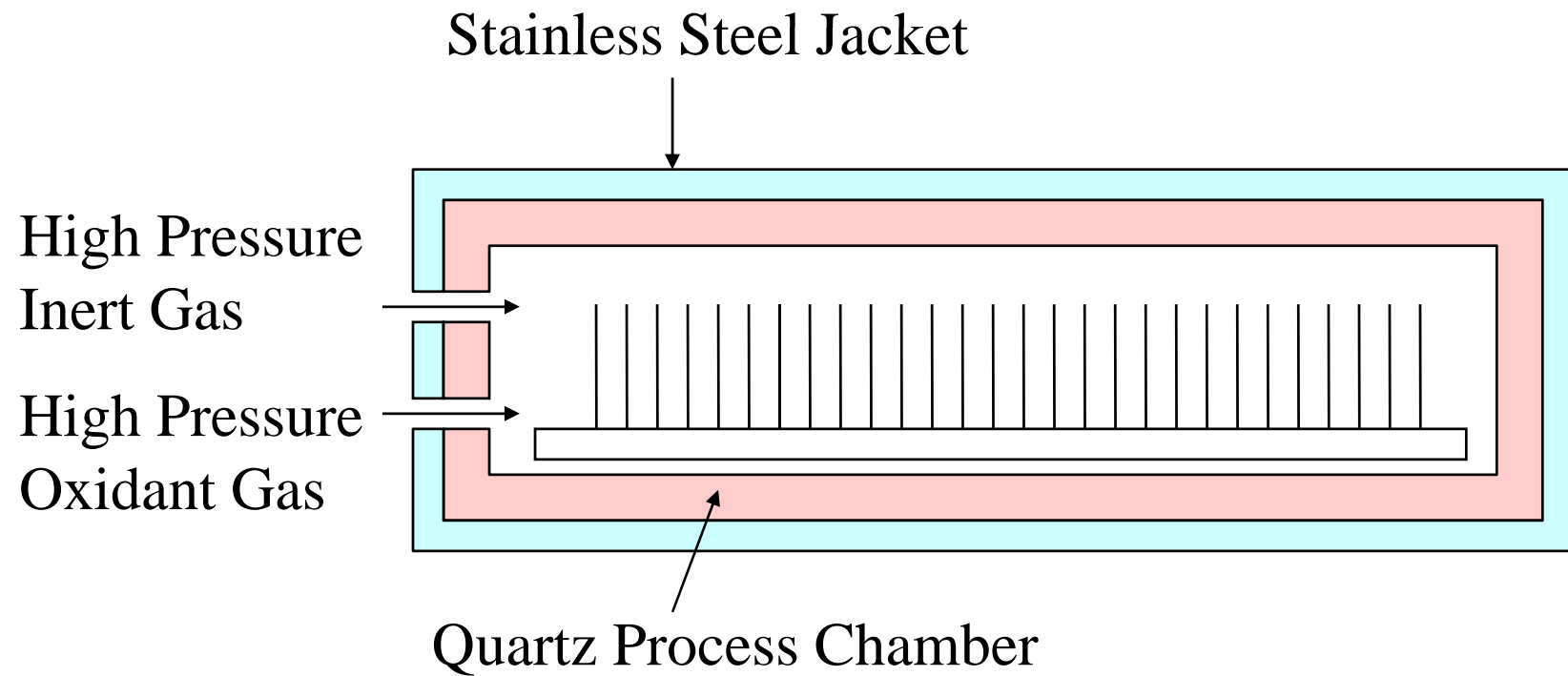
# RTP 製程圖示



# 高壓氧化

- 快速成長速率
- 減低氧化溫度:
  - 1 amt. =  $-30^{\circ}\text{C}$
- 較高的介電質強度

# 高壓氧化



# 高壓氧化

Oxidation time to grow 10,000 Å wet oxide

Temperature	Pressure	Time
1000 °C	1 atmosphere	5 hours
	5 atmosphere	1 hour
	25 atmosphere	12 minutes

# 高壓氧化

Oxidation temperature to grow 10,000 Å wet oxide in 5 hours

Time	Pressure	Temperature
5 hours	1 atmosphere	1000 °C
	10 atmosphere	700 °C



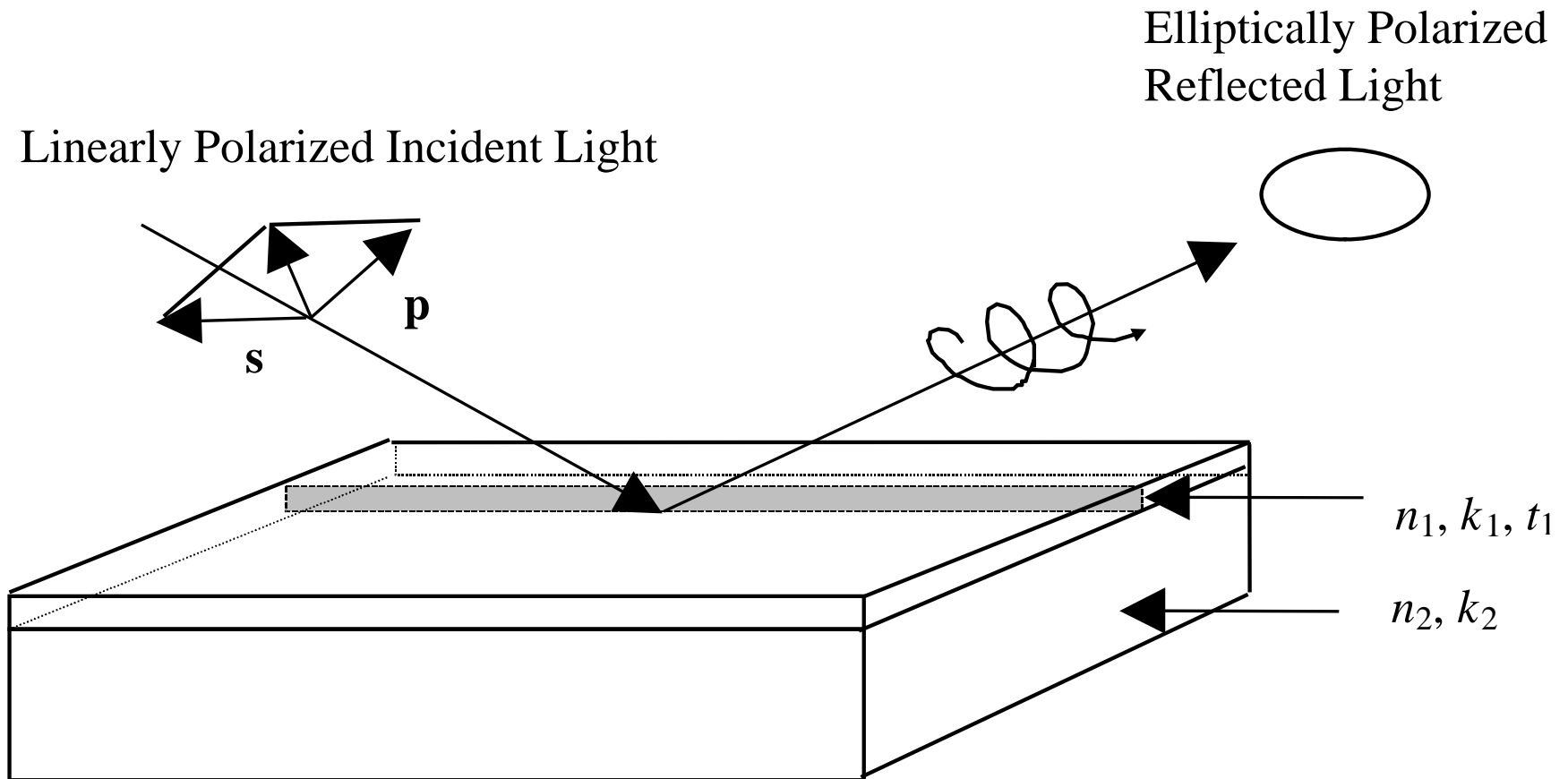
# 高壓氧化

- 複雜的系統
- 安全性問題
- 不廣泛的使用在IC產品

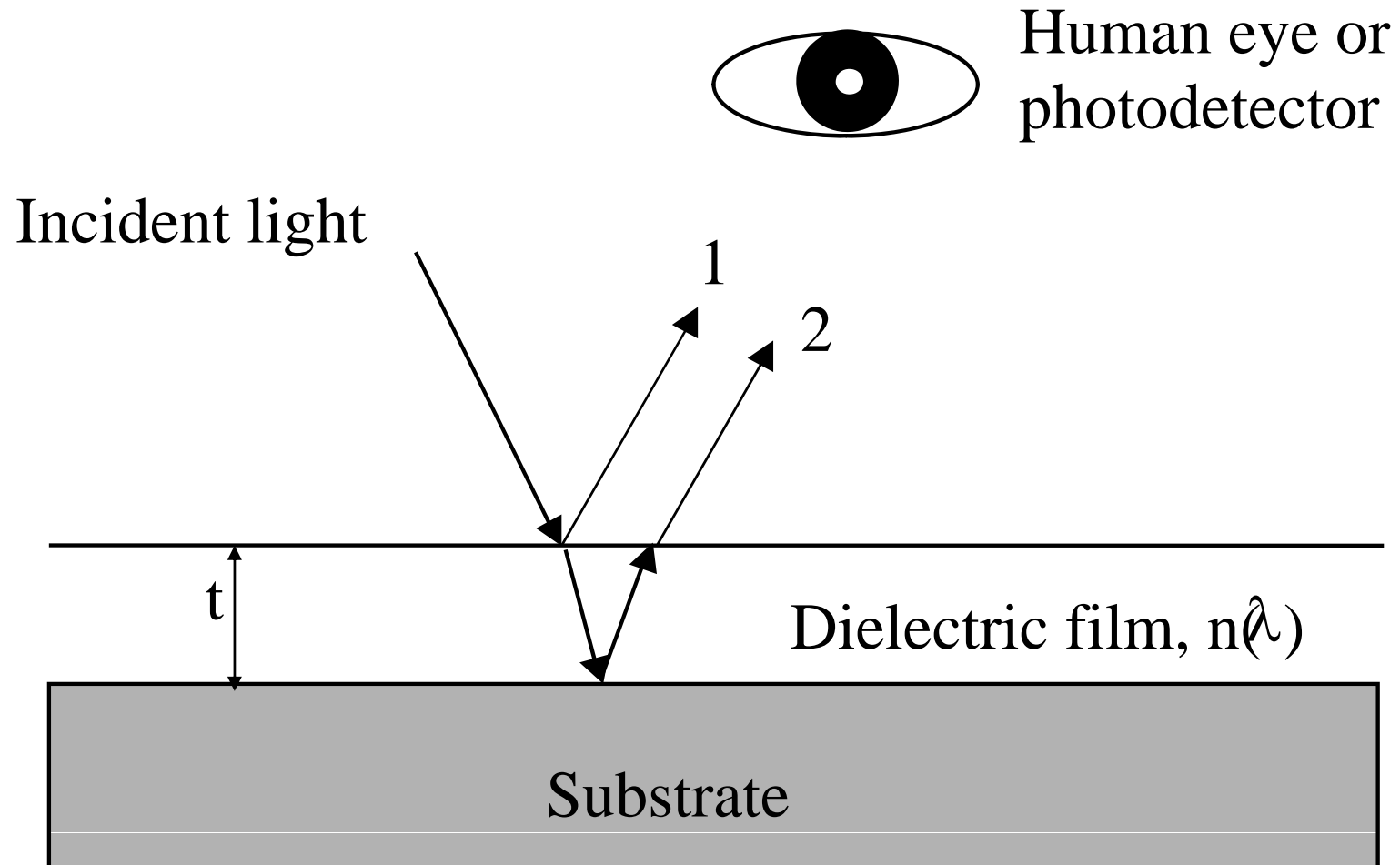
# 氧化層量測

- 厚度
- 均勻性
- 色彩對照表  
(Color chart)
- 橢圓光譜儀  
(Ellipsometry)
- 反射光譜儀  
(Reflectometry)
- 閘極氧化層
- 崩潰電壓
- C-V 特性

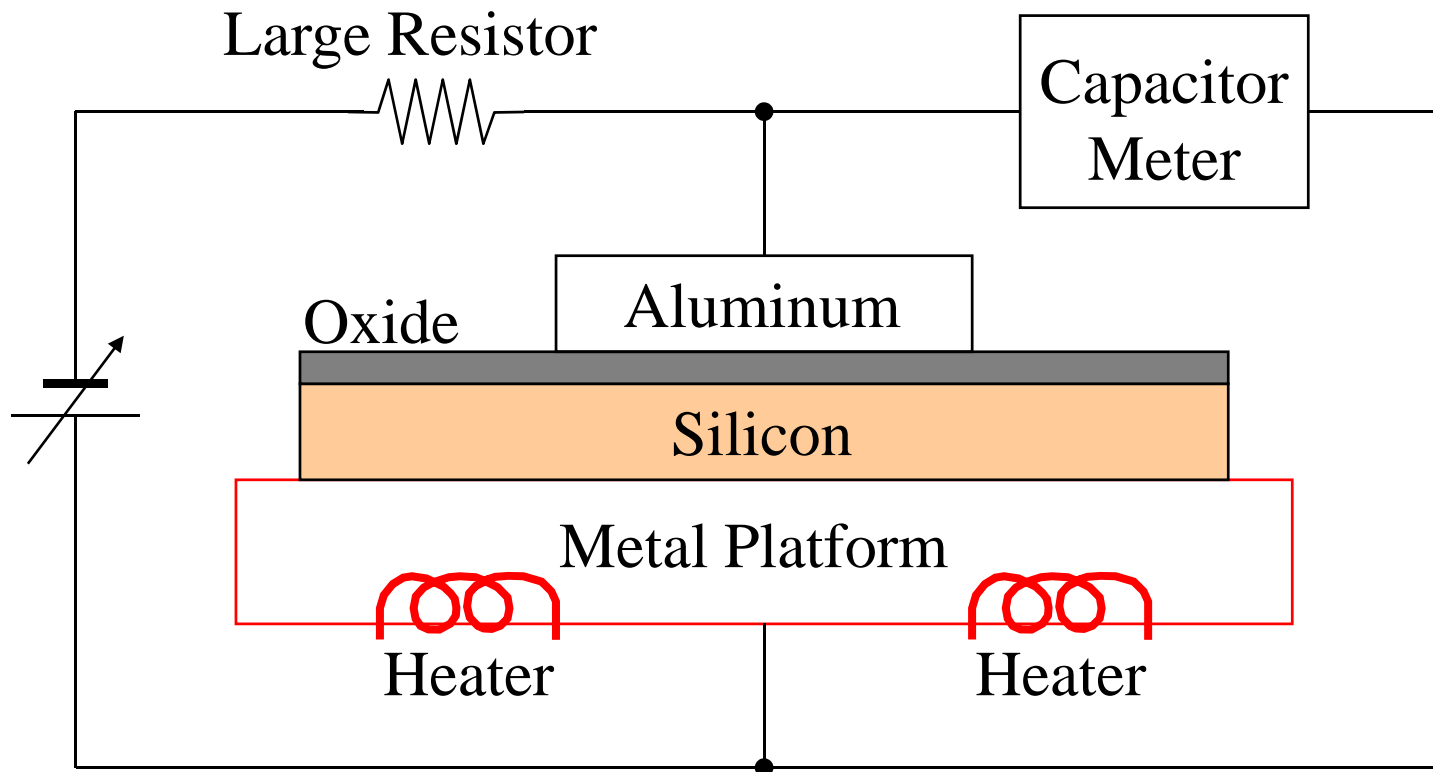
# 橢圓光譜儀



# 反射光譜儀 (Reflectometry)



# C-V 測試結構



# 氧化摘要

- 矽的氧化
- 高穩定性及容易去獲得
- 應用
  - 絕緣層，遮蔽層，襯墊層，阻擋層，閘極等
- 濕式及乾式
- 先進IC晶片多使用乾式製程
- 對超薄閘極氧化層的快速加熱氧化及退火

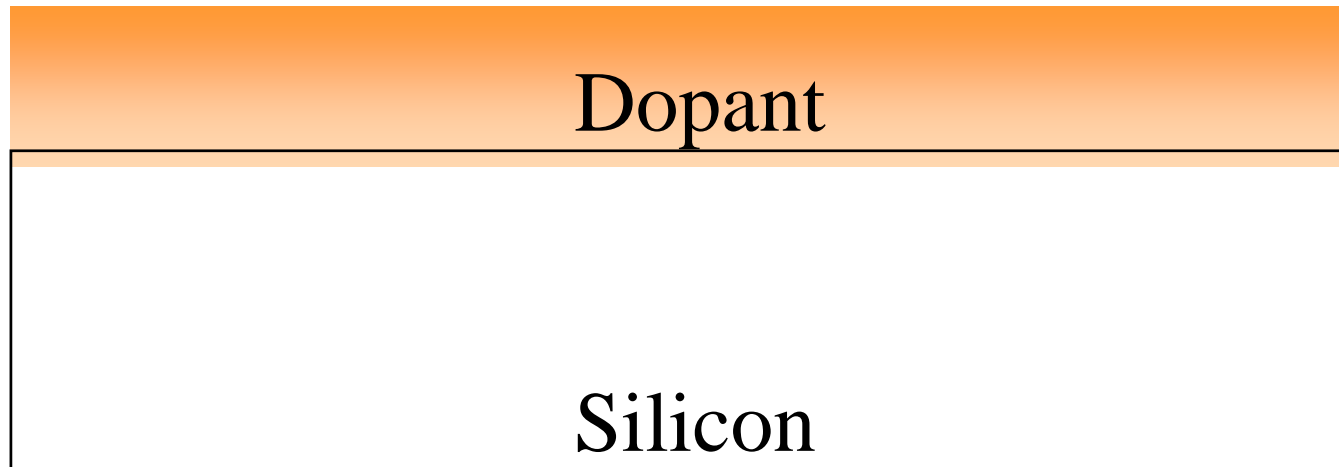
# 擴散

# 擴散

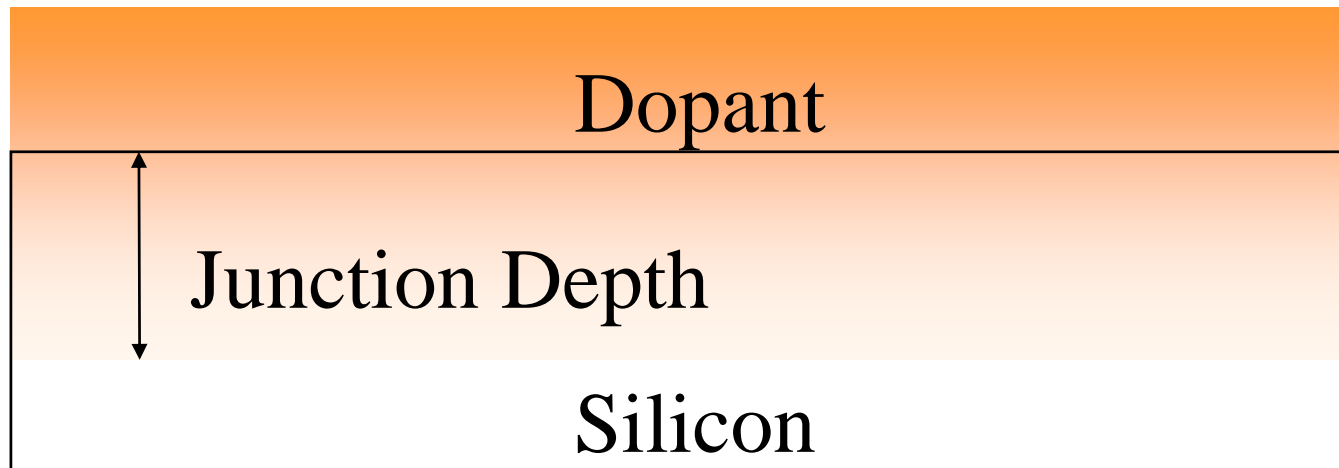
- 常見的物理現象
- 物質從高濃度區往低濃度區移動
- 二氧化矽作為擴散遮蔽層
- 廣泛使用在半導體摻雜
- “擴散爐(Diffusion Furnace)” and “擴散區間(Diffusion Bay)”



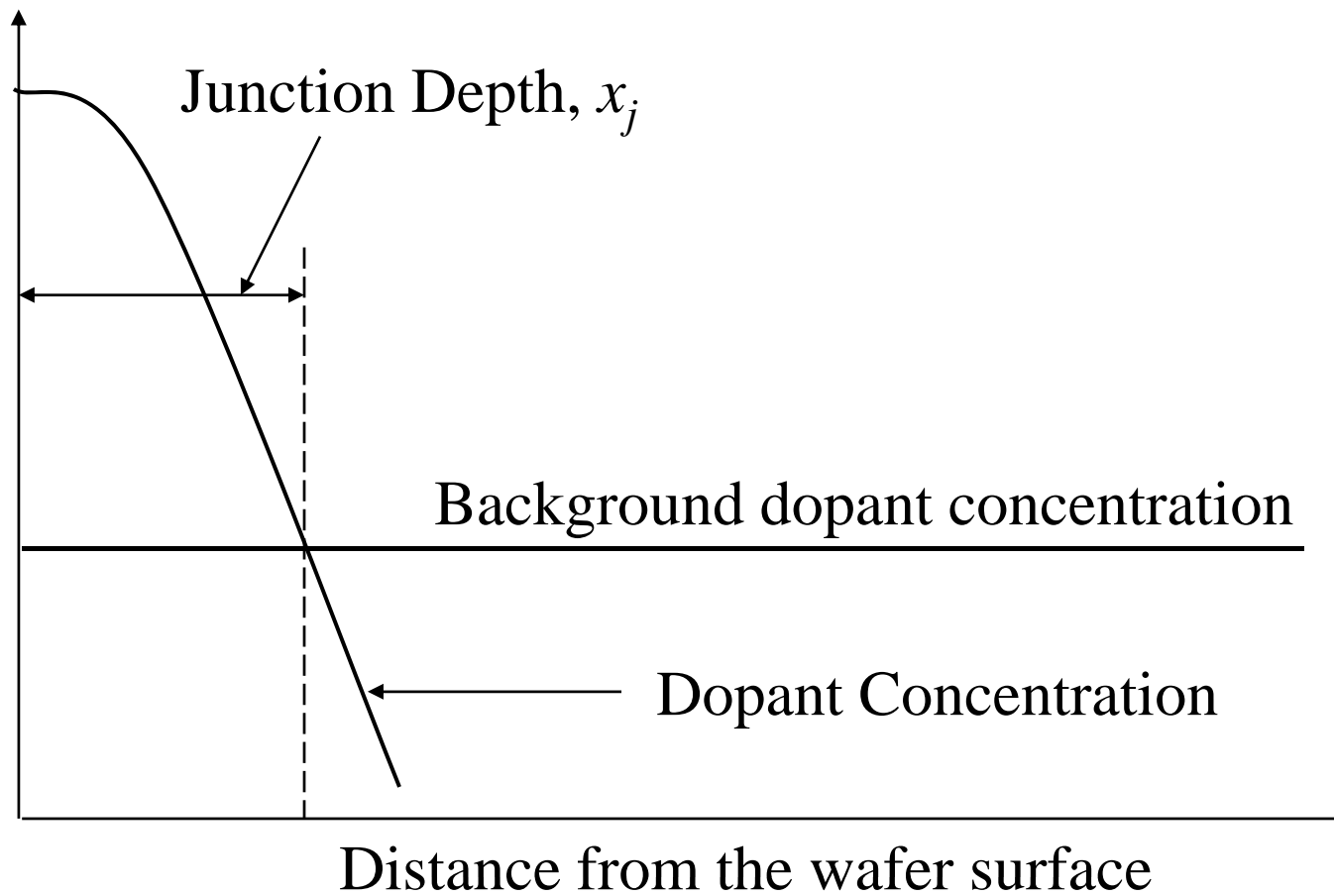
# 擴散摻雜圖示



# 擴散摻雜圖示



# 接面深度的定義



# 擴散

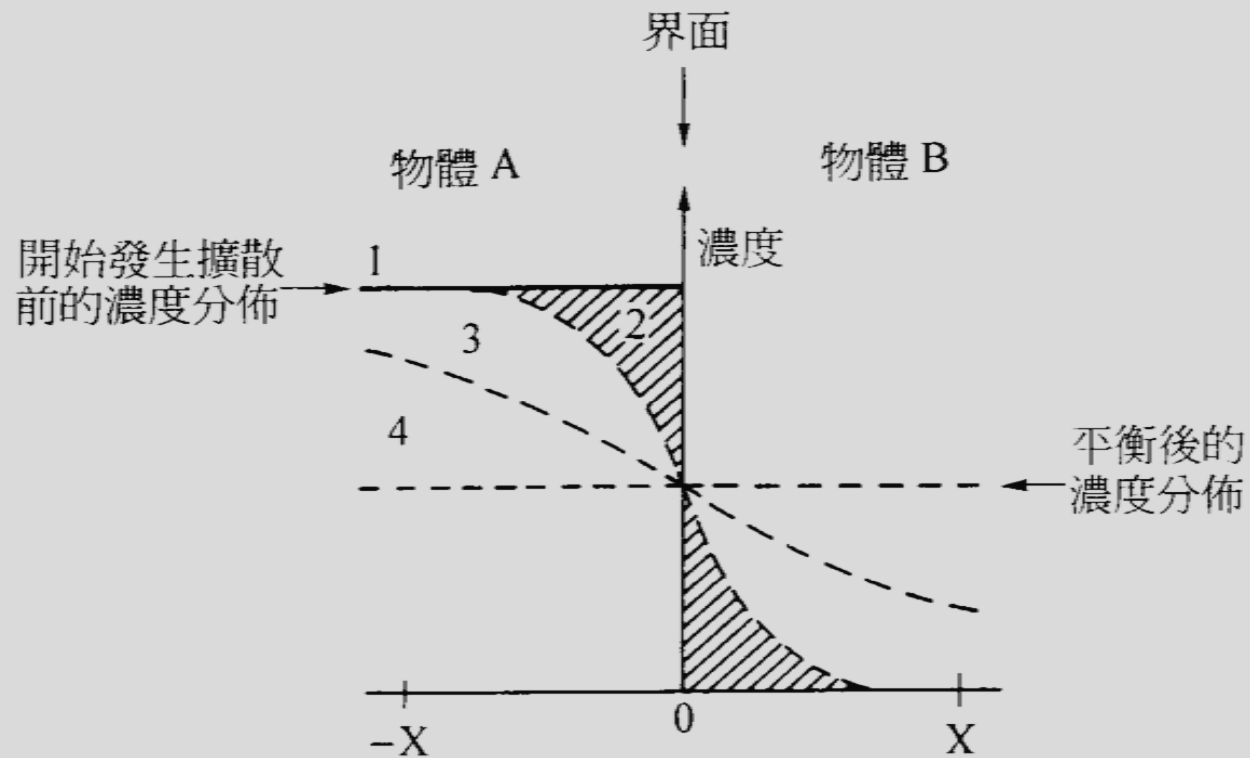
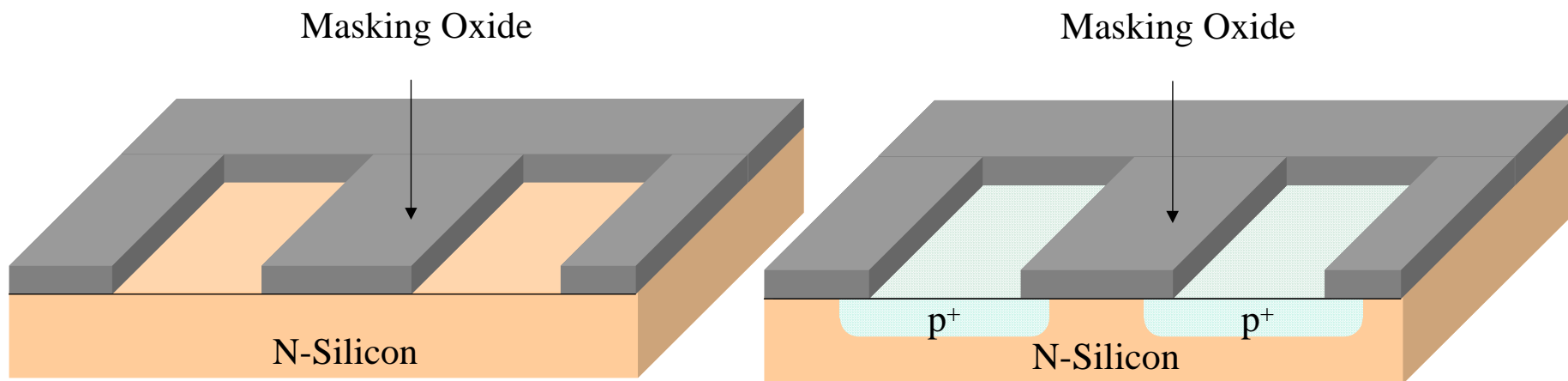


圖 9-2 當兩個含  $c$  物質比例不同的 A, B 兩物體相緊密的接觸之後，基於熱力學的因素， $c$  物質將從含量較高的物體 (即圖裡的 A)，往較低的部份 (即 B) 擴散。其中四條曲線分別代表不同的擴散結果

# 擴散



# 擴散

- 由於較少的製程控制而被離子佈植取代
- 爲了良好的組成仍然被使用來驅入(drive-in)
- 雜質粒子在結晶物質內擴散主要有經由“空缺(Vacancy)”與“晶隙(Interstitial)”兩種方式

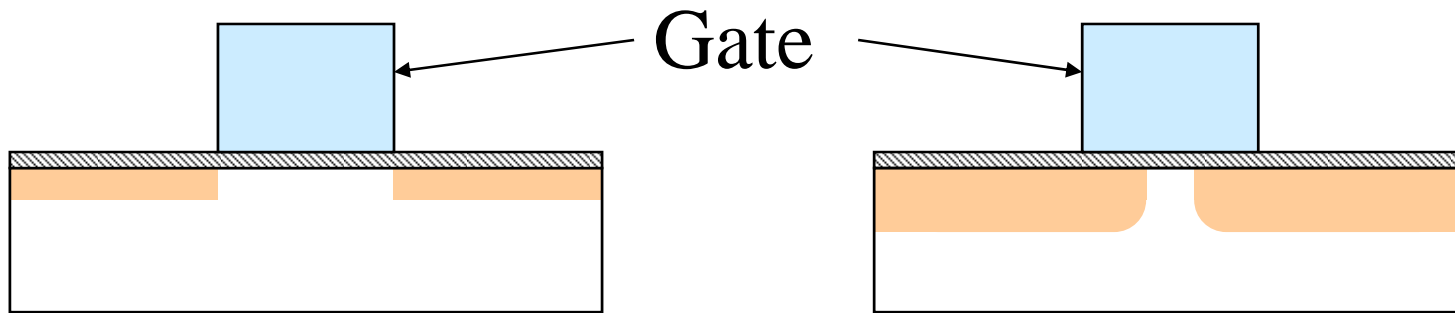
# 熱積存 (Thermal Budget)

- 在高溫下摻雜原子快速的擴散

$$D = D_0 \exp (-E_A/kT)$$

- 小元件尺寸，較小的熱擴散空間，較小的熱積存
- 熱積存決定佈植後加熱製程的時間和溫度

# 熱積存圖示

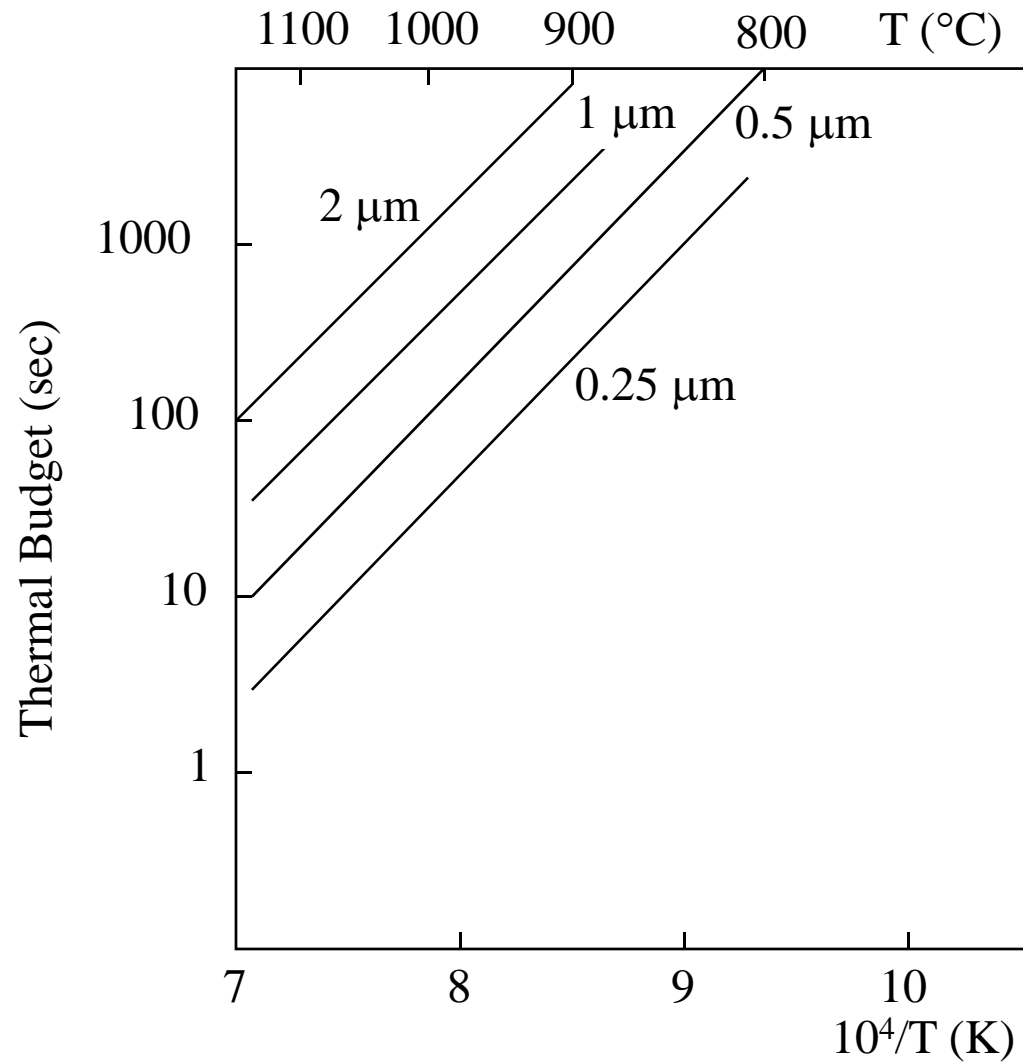


As S/D Implantation

Over Thermal Budget



# 熱積存



Source: Chang  
and Sze, *ULSI  
Technology*

# 擴散摻雜製程

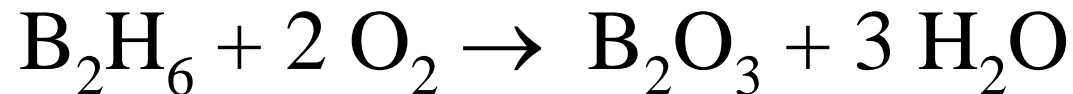
- 摻雜物的集中和接面深度都與溫度相關
- 無法獨立控制上述因子
- 等向性摻雜
- 在1970年代中期逐漸被離子佈植所取代

# 擴散摻雜製程

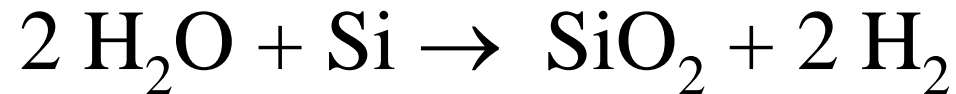
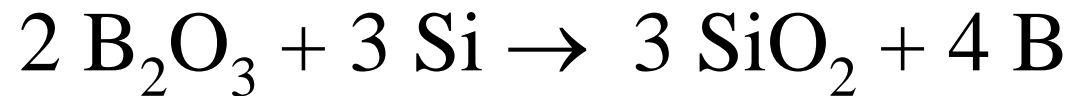
- 二氧化矽是堅固的遮蔽層
- 沉積摻雜物氧化層
- 覆蓋層氧化反應 (Cap oxidation)
  - 防止摻雜物擴散至氣態
- 驅入 (Drive-in)

# 擴散摻雜製程

- 氧化，，微影和氧化物剝除
- 預積 (Pre-deposition):



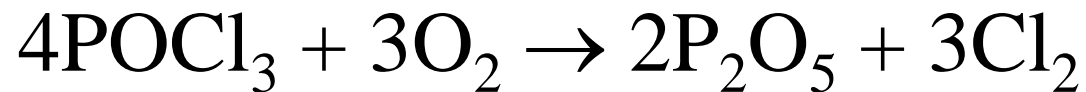
- 覆蓋層氧化反應：



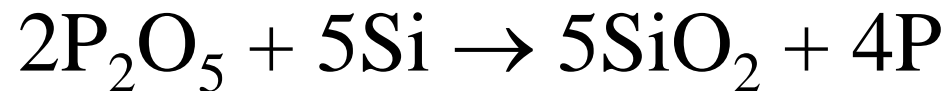
- 驅入  
– 硼擴散至矽基底

# 擴散摻雜製程

- 氧化，微影和氧化物剝除
- 沉積摻雜物氧化層：



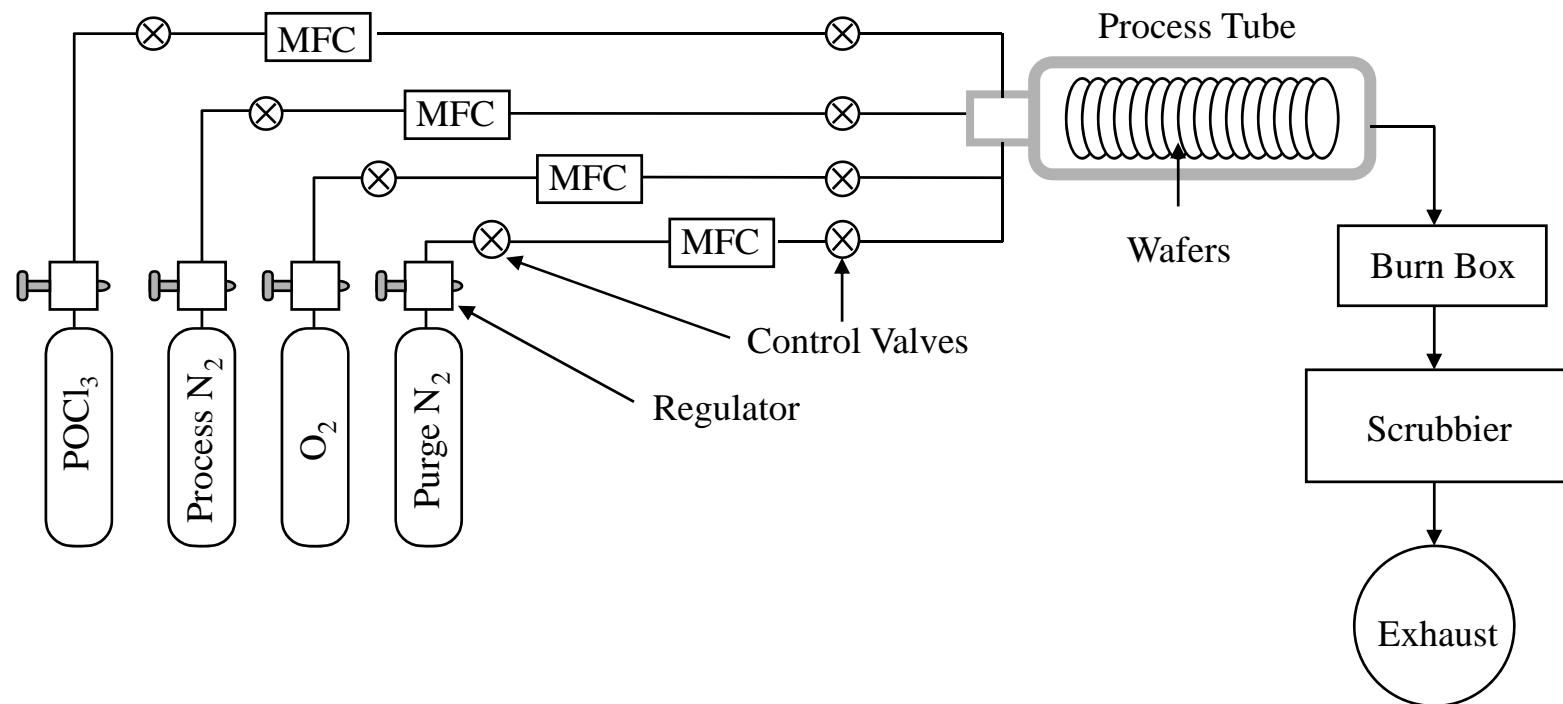
- 覆蓋層氧化反應



– 磷集中在矽表面上

- 驅入
  - 磷擴散置矽基底

# 磷摻雜系統

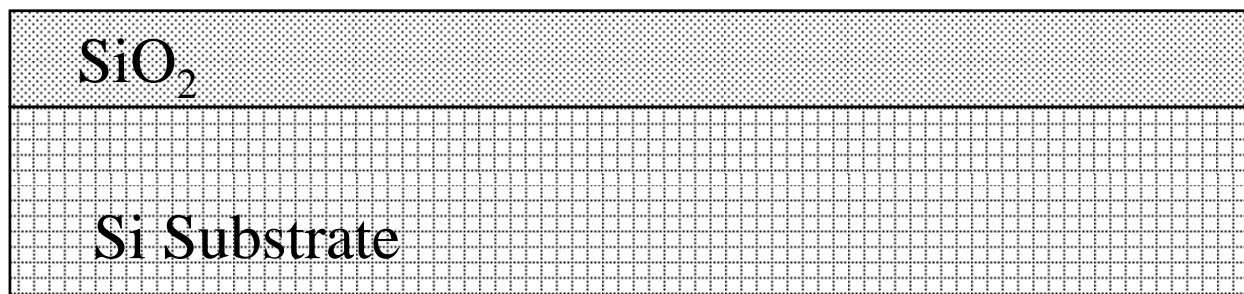


# 晶圓清洗



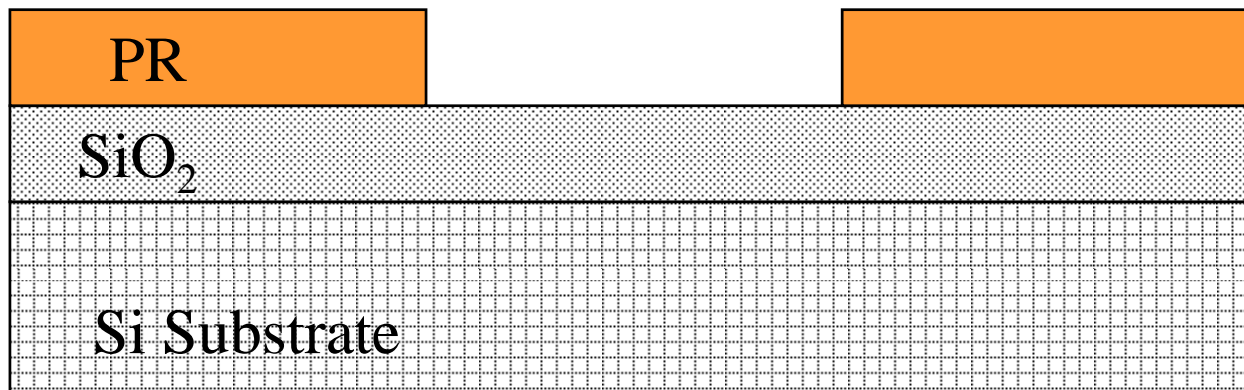
Si Substrate

# 氧化

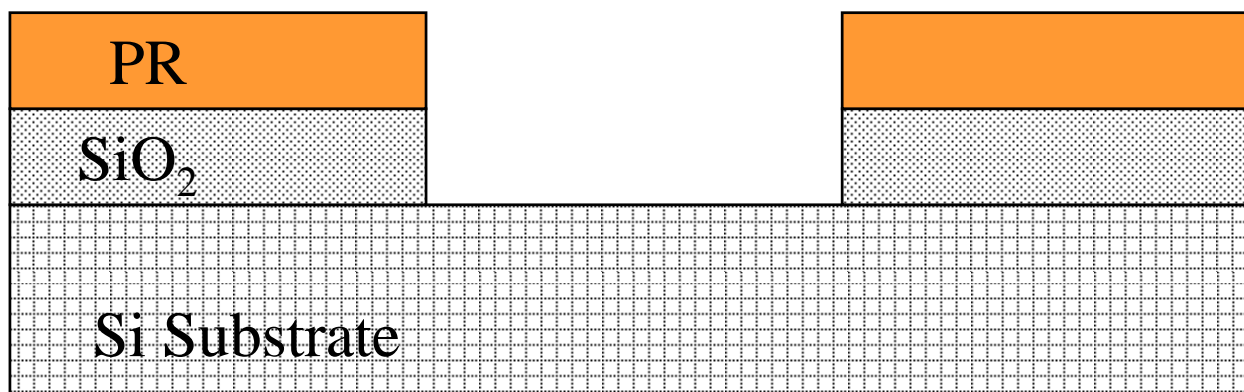




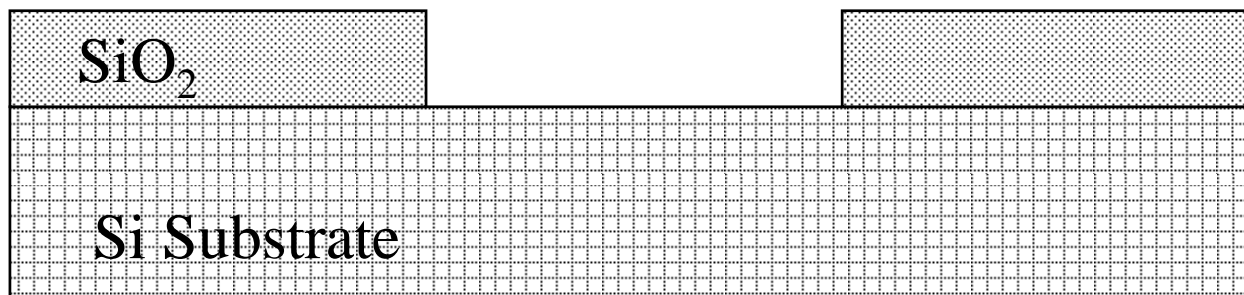
# 摻雜區域圖形化



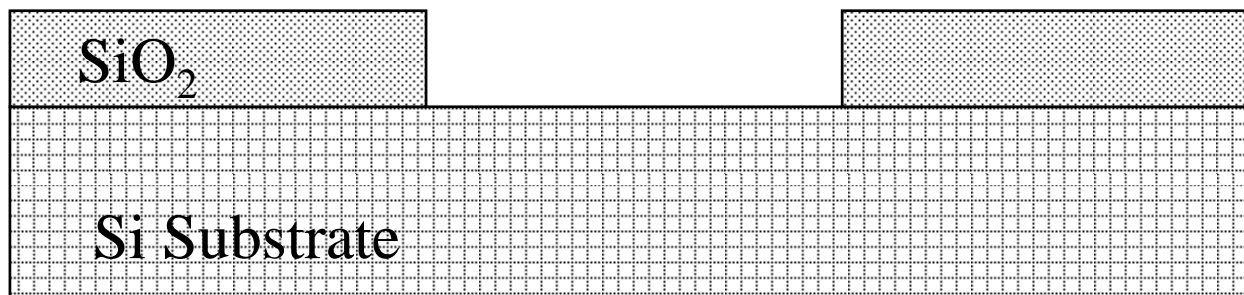
# 蝕刻二氧化矽



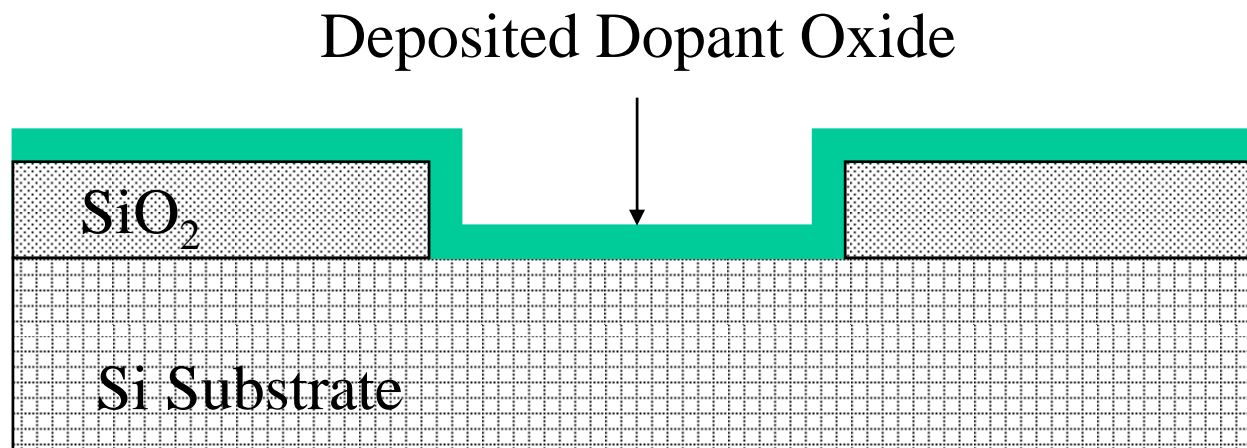
# 光阻剝除



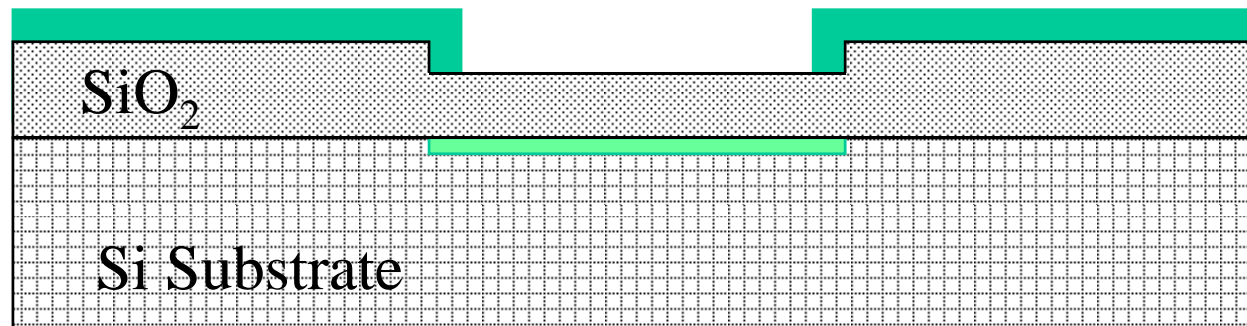
# 晶圓清洗



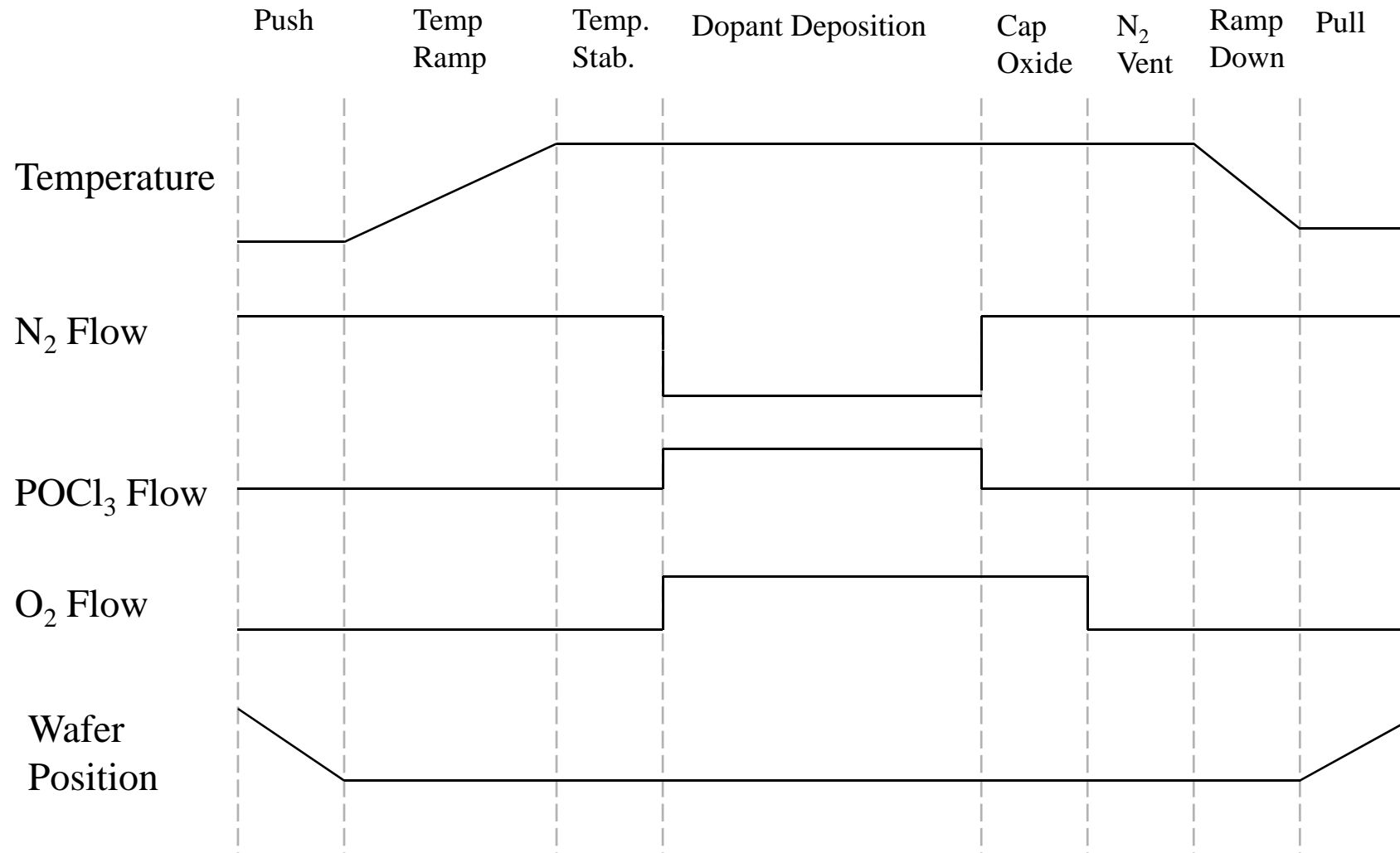
# 摻雜氧化物沉積



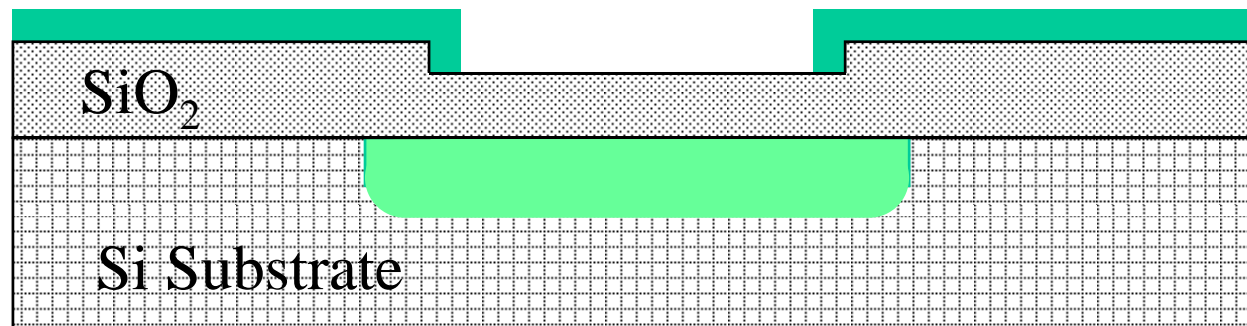
# 覆蓋層氧化反應 (Cap Oxidation)



# 磷氧化物沉積和覆蓋層氧化反應

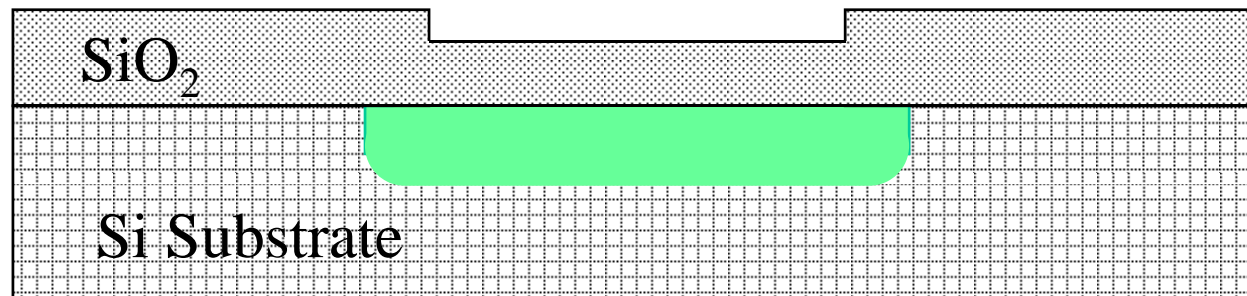


# 驅入 (Drive-in)

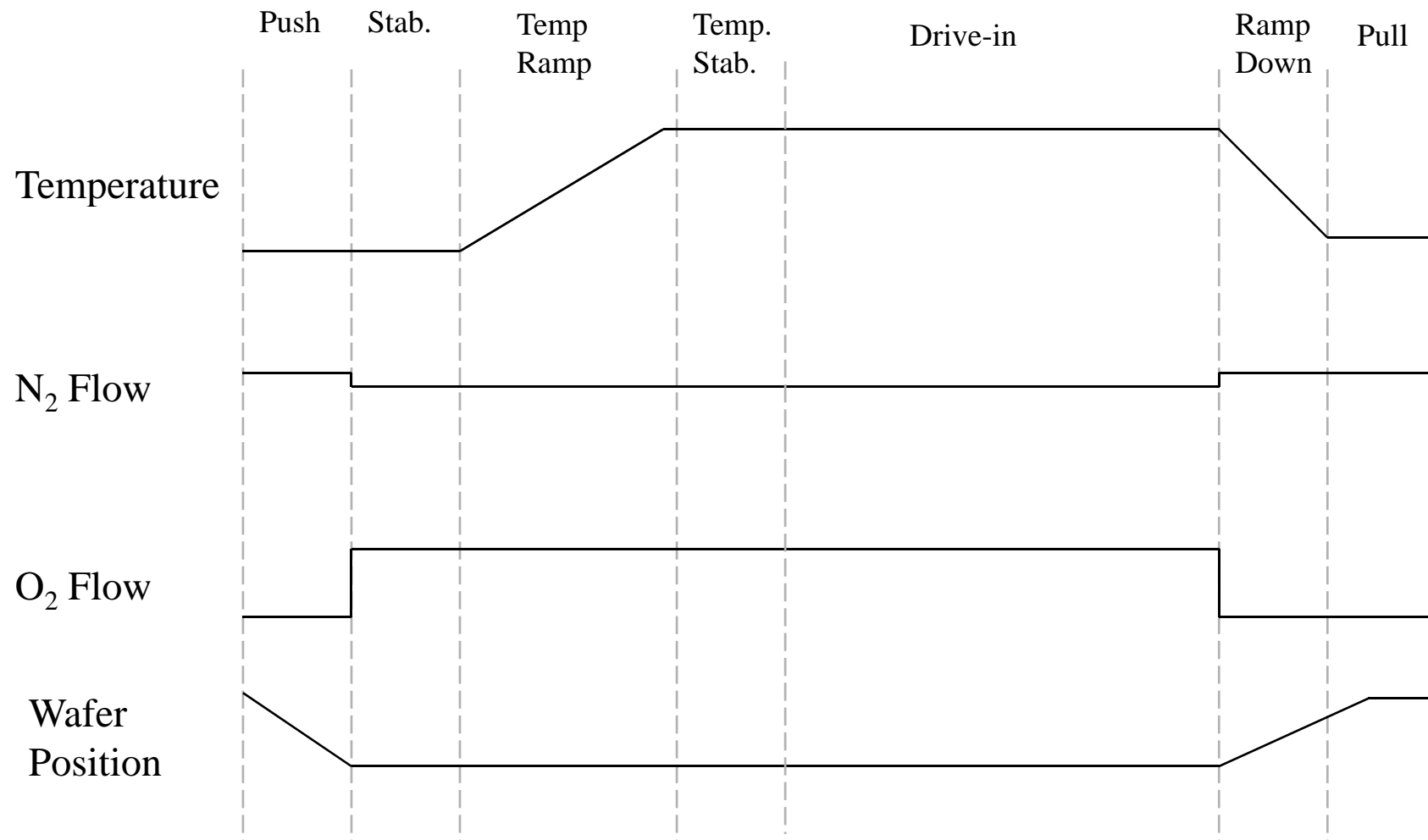




# 剝除氧化物，準備下一程序



# 磷的驅入



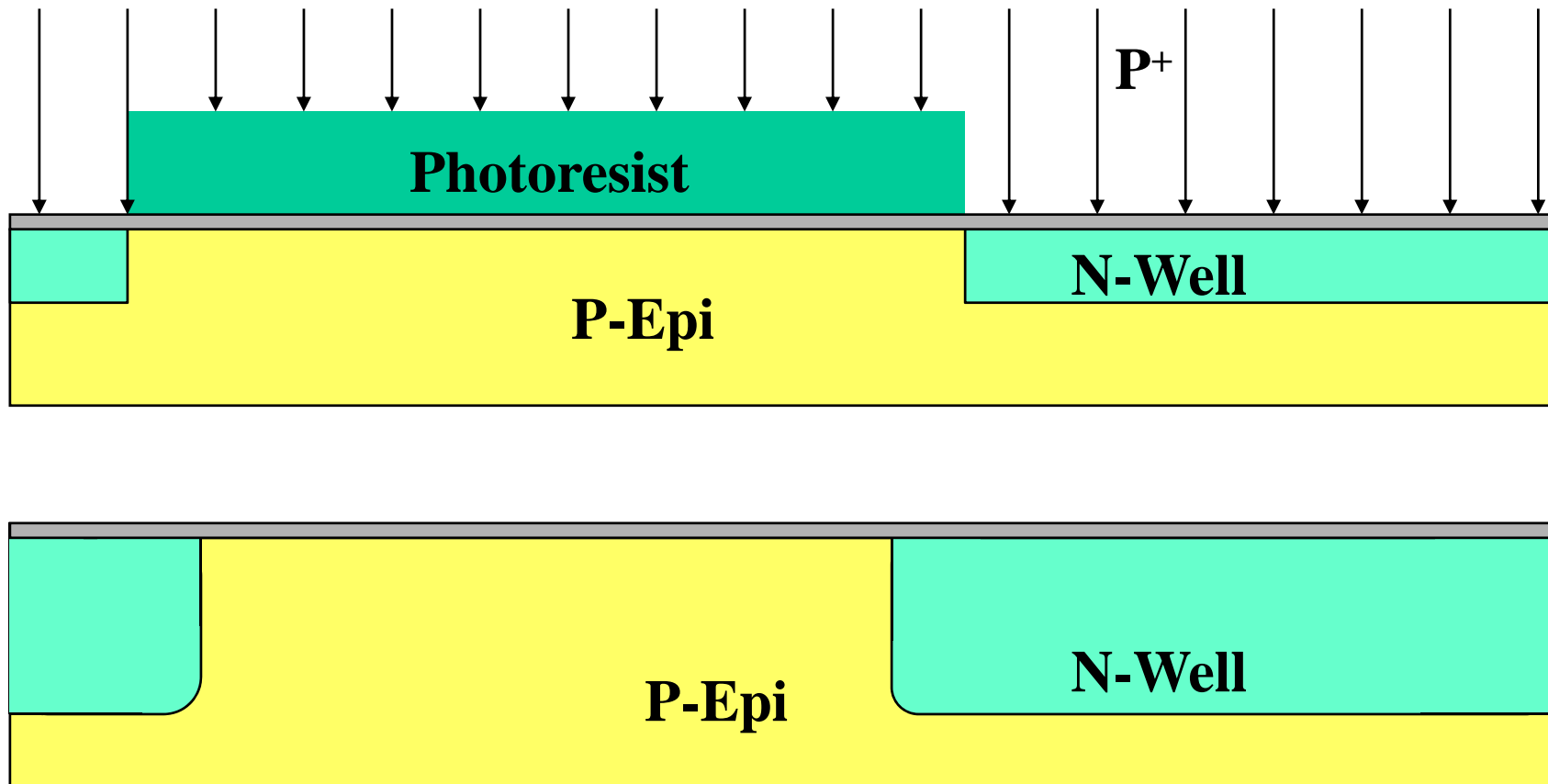
# 限制及應用

- 擴散是等向性製程並總是摻雜在遮蔽氧化層之下
- 無法獨立控制接和深度及摻雜物集中
- 使用在良好佈植驅入
- R&D for 超淺接面 (USJ) 形成

# 擴散的應用：驅入

- 井區區要很深的接面深度
- 需要非常高的離子佈植能量
- 離子佈植所花費的 MeV 是非常高的
- 在退火時，擴散能幫助驅使摻雜物到達希望的接面深度

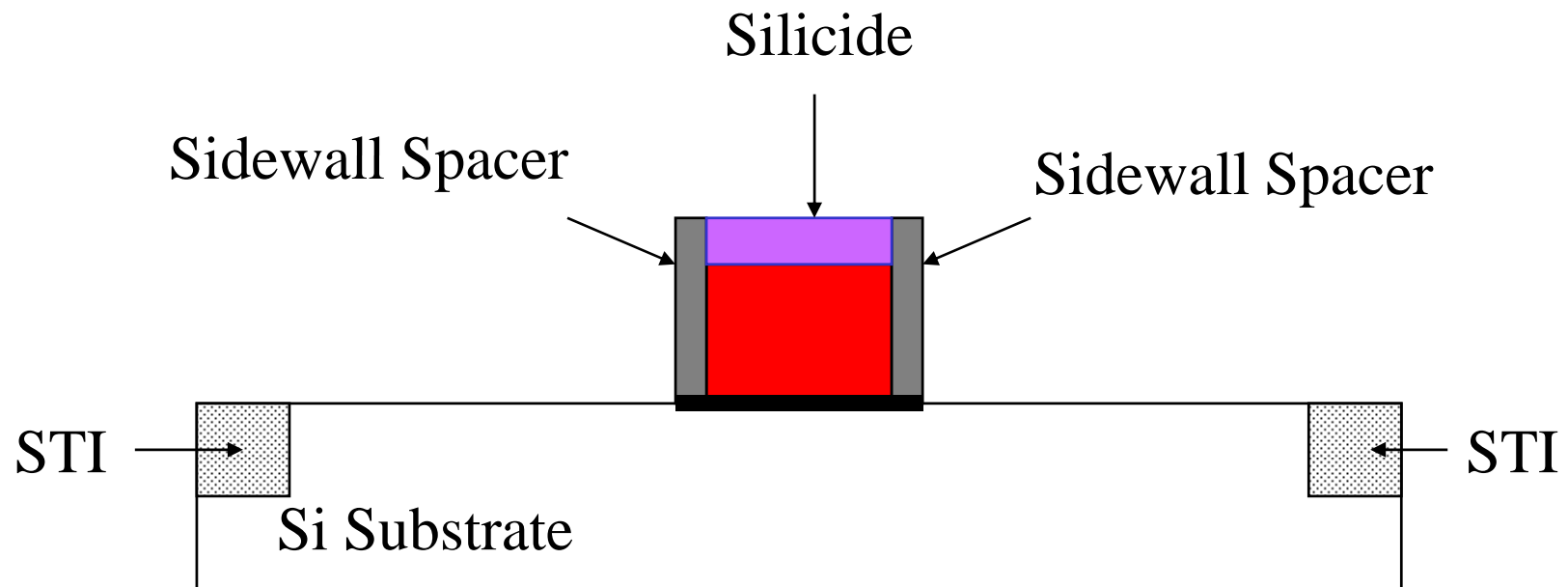
# 良好的佈植及驅入



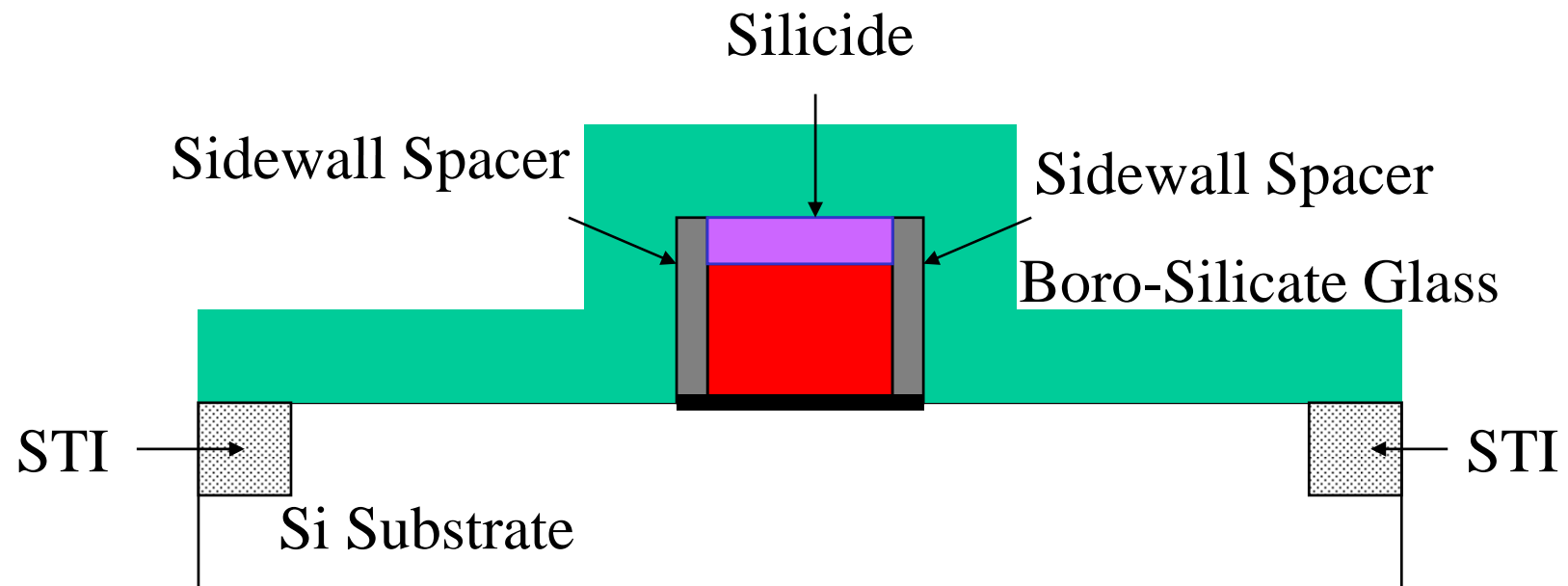
# 硼超淺接面 (USJ) 形成的擴散

- 小元件需要超淺接面 (ultra shallow junction)
- 硼原子小而且輕，植入高能量使它更深入
- 熱擴散控制使用在 R&D for 超淺接面

# 表面清洗

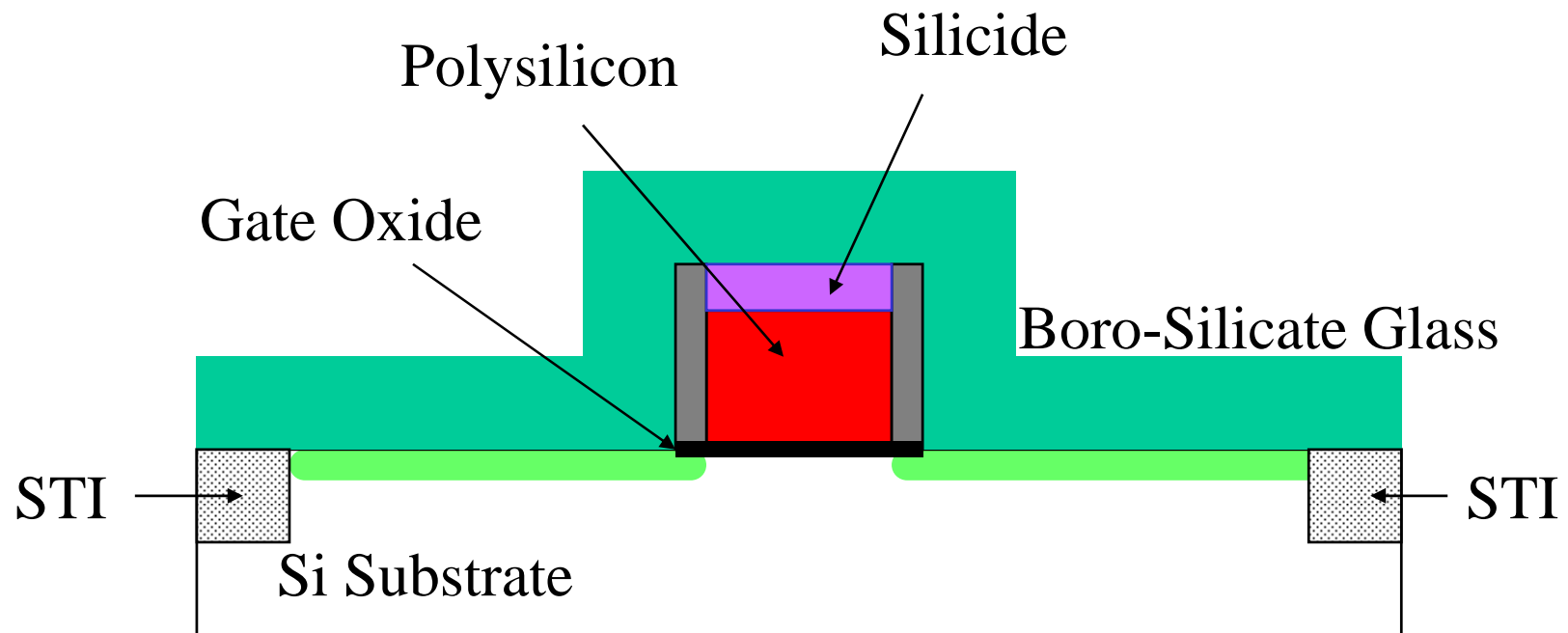


# BSG CVD

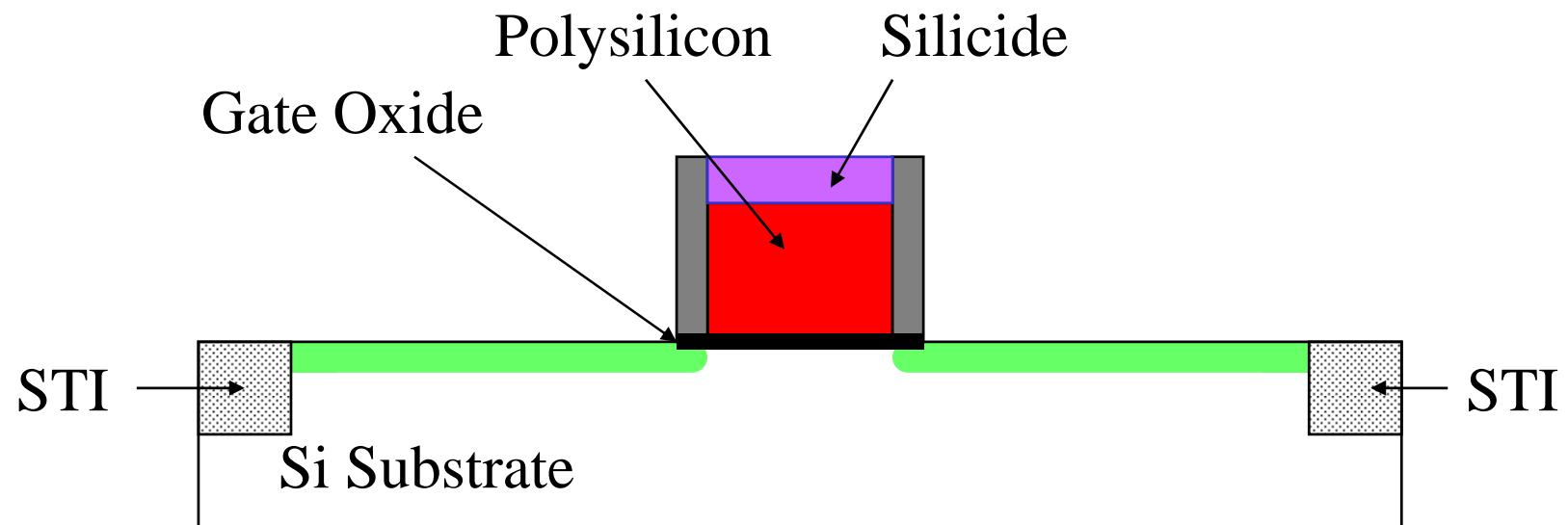




# RTP 摻雜物驅入



# 剥除 BSG

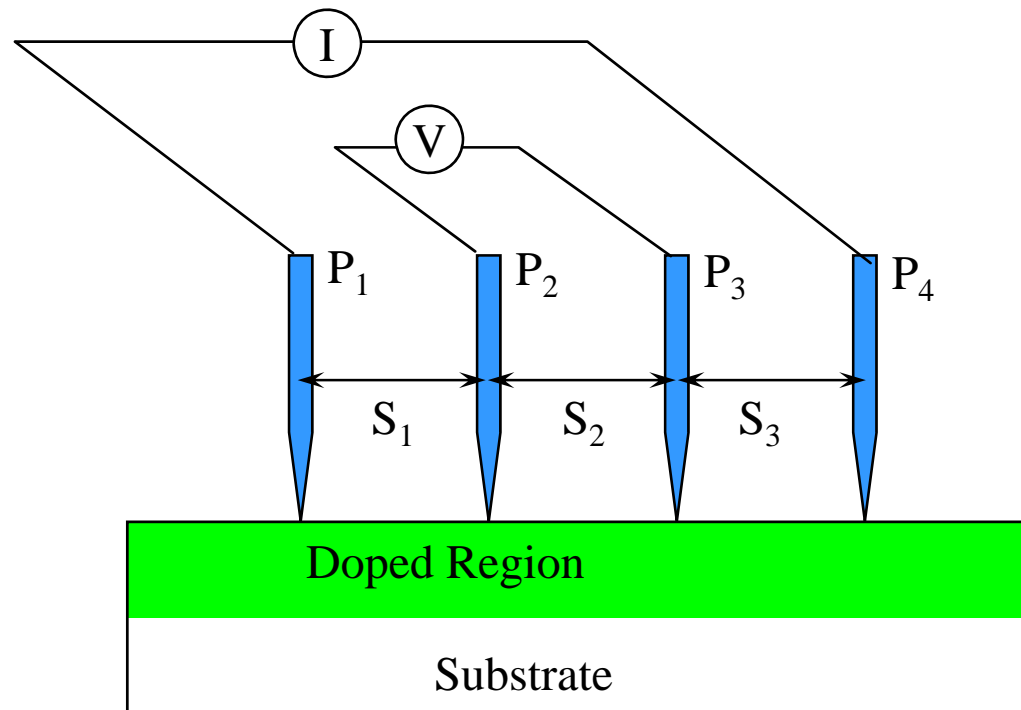


# 摻雜的量測

- 四點探針

$$R_s = \rho/t$$

# 四點探針量測



# 擴散摘要

- 物理學的擴散是廣泛知道的
- 擴散在早期的IC製造中廣泛使用在摻雜製程中
- 在1970年代中期由離子佈植所取代

# 退火及RTP 製程

# 佈植後退火

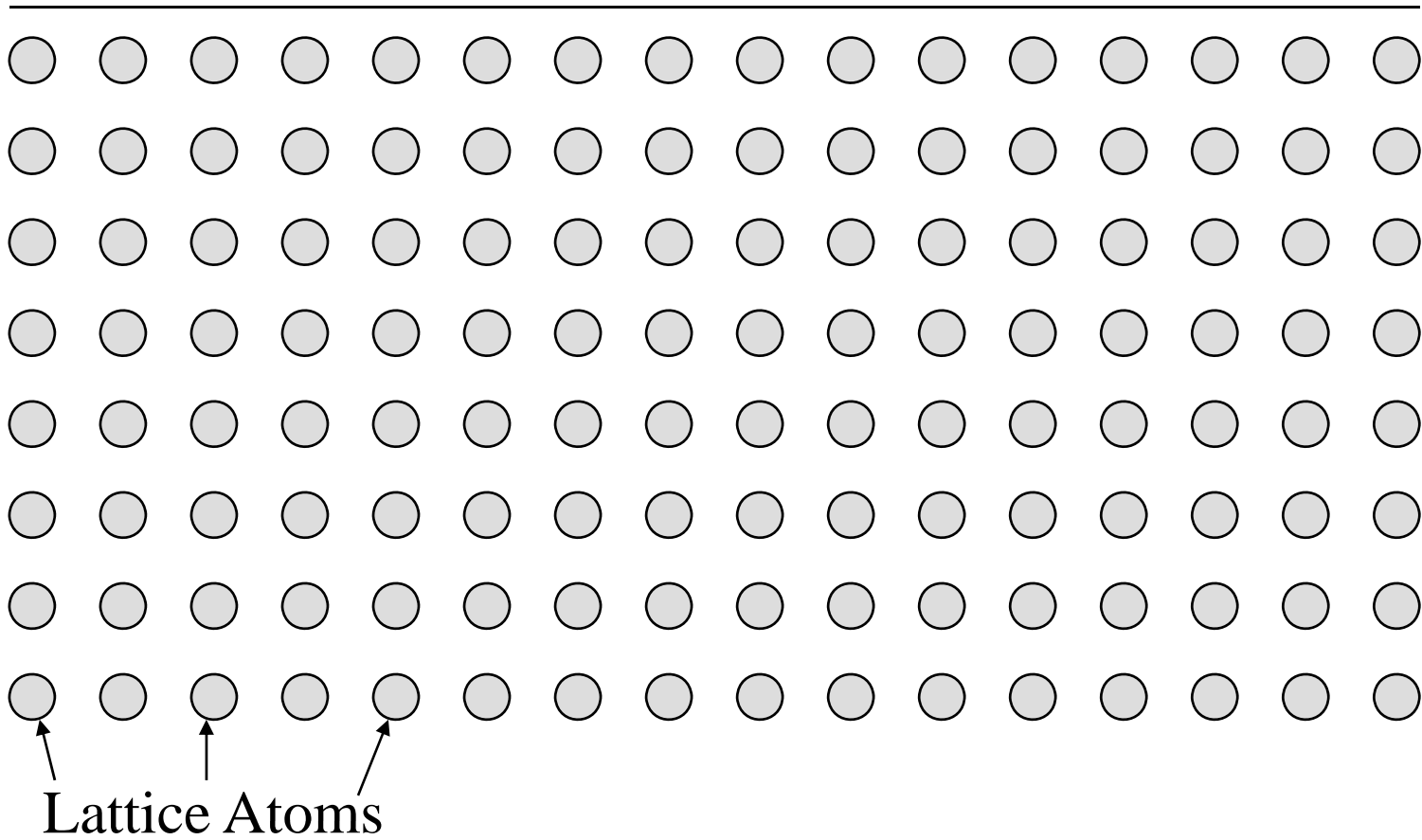
- 高能量離子損害晶格結構
- 非晶態矽具高電阻率
- 需要額外能量像熱能來修復單晶結構
- 只有在單晶結構下摻雜物可以活化

# 佈植後退火

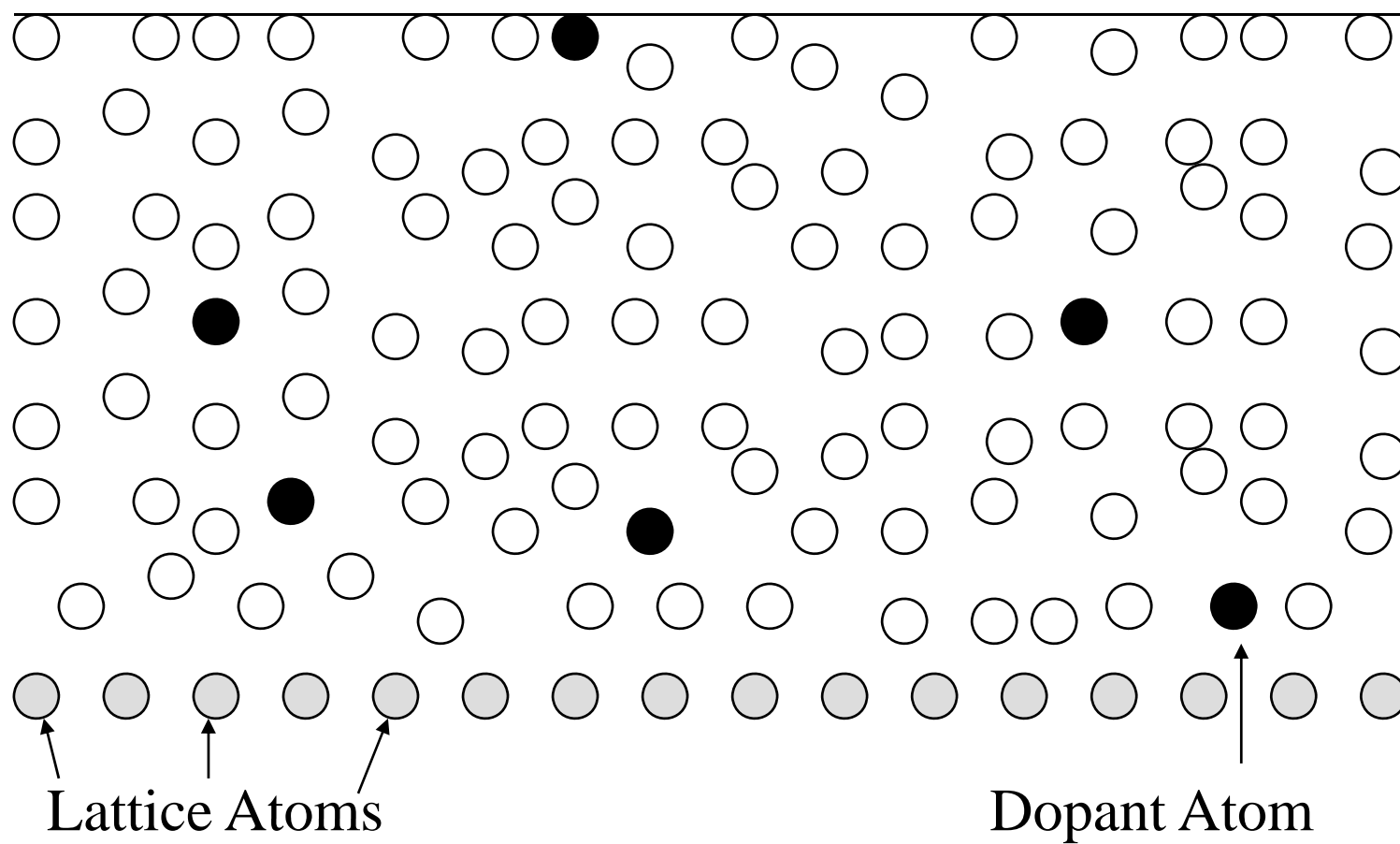
- 單晶結構擁有最低的位能
- 原子傾向停在晶格上
- 加熱提供能量給原子做快速熱移動
- 原子會找尋和安置在具最低位能位置的晶格上
- 越高的溫度，越快的退火



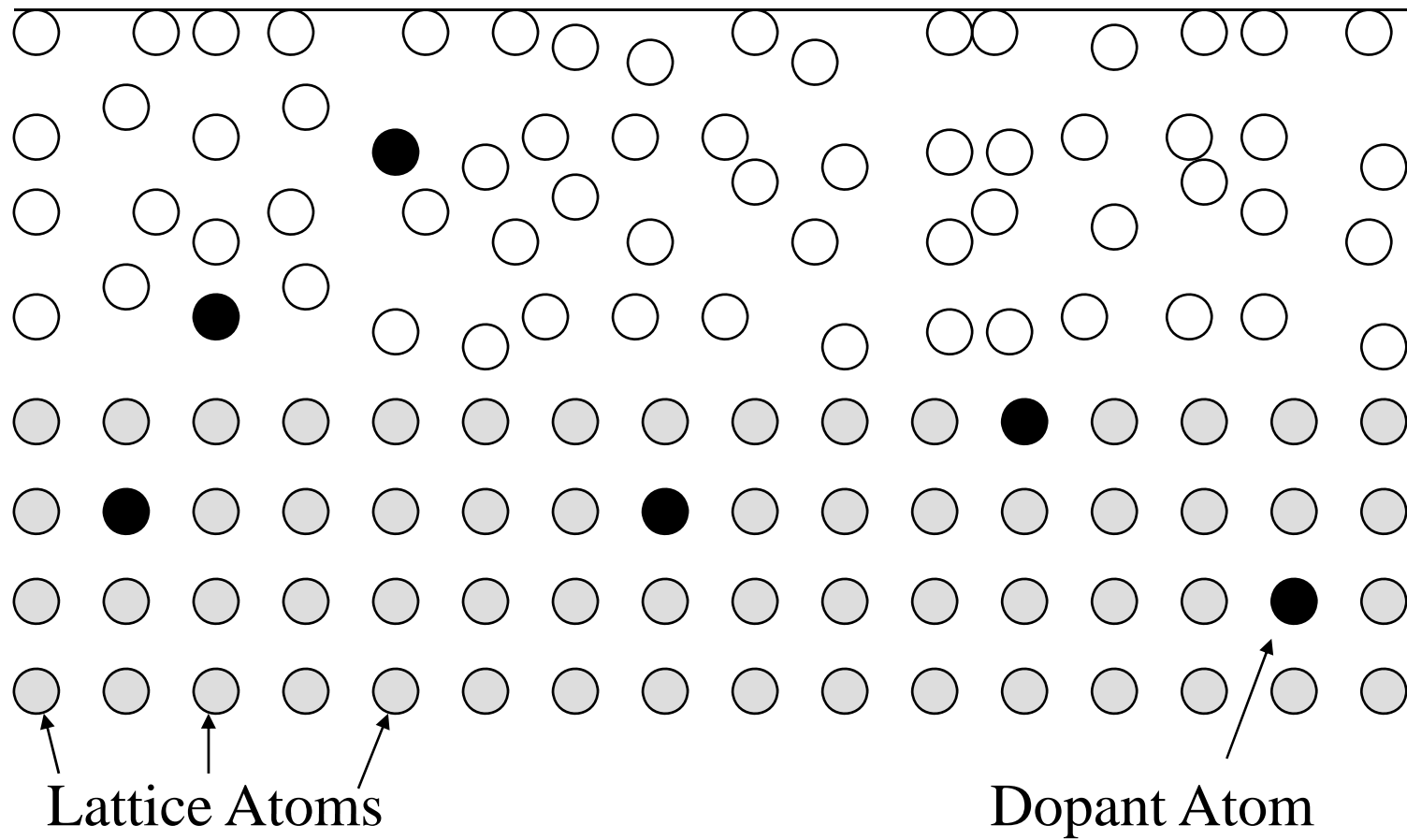
# 離子佈置前



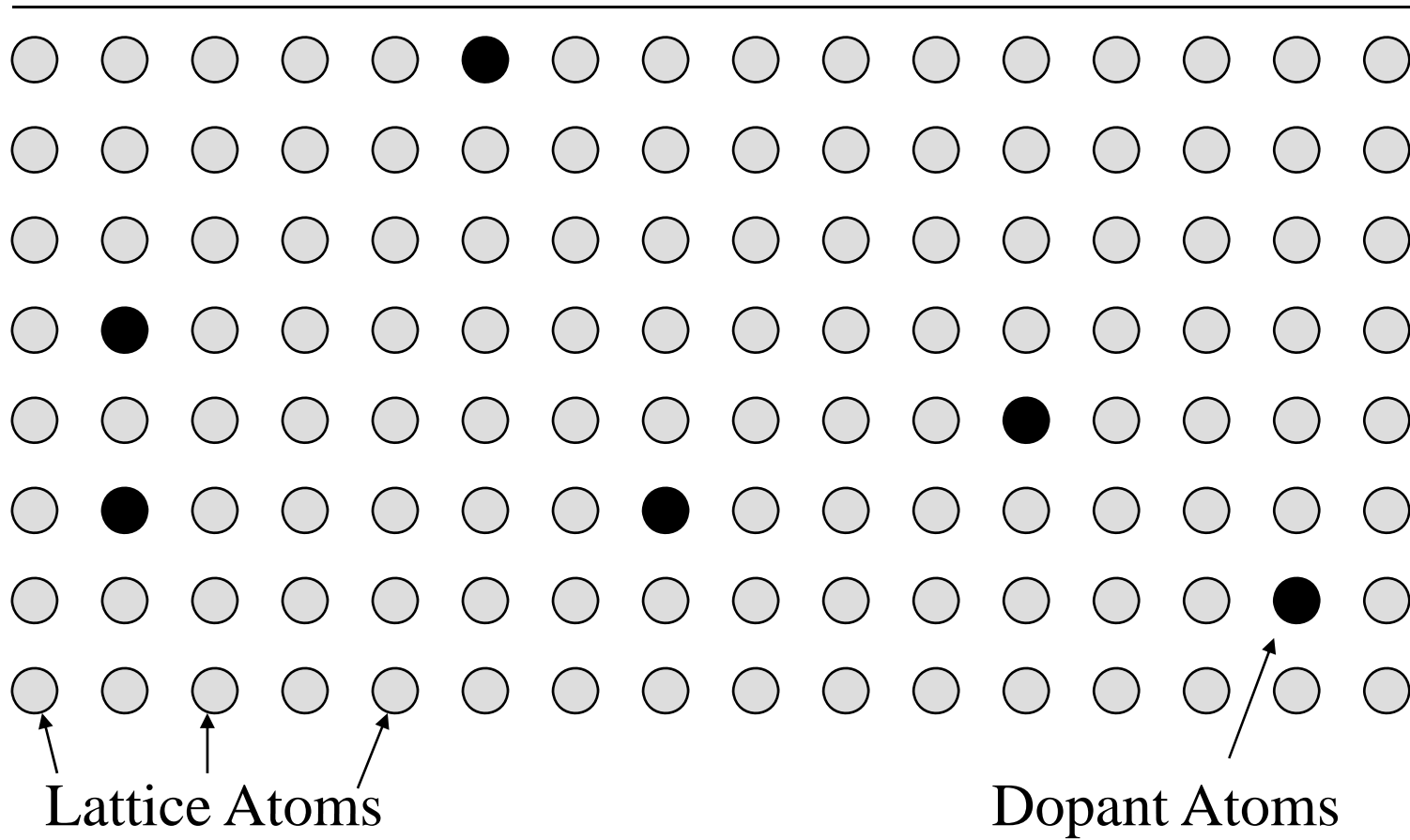
# 離子佈植後



# 退火



# 退火



# 合金熱處理 (Annoy Annealing)

- 一種在不同原子間彼此結合化學鍵形成金屬合金的熱處理過程
- 廣泛使用在矽化物的形成
- 自我對準金屬矽化物(Self aligned silicide, salicide)
  - 鈦金屬矽化物， $\text{TiSi}_2$
  - 鈷矽化物， $\text{CoSi}_2$
- 高溫爐和快速加熱製程 (RTP)

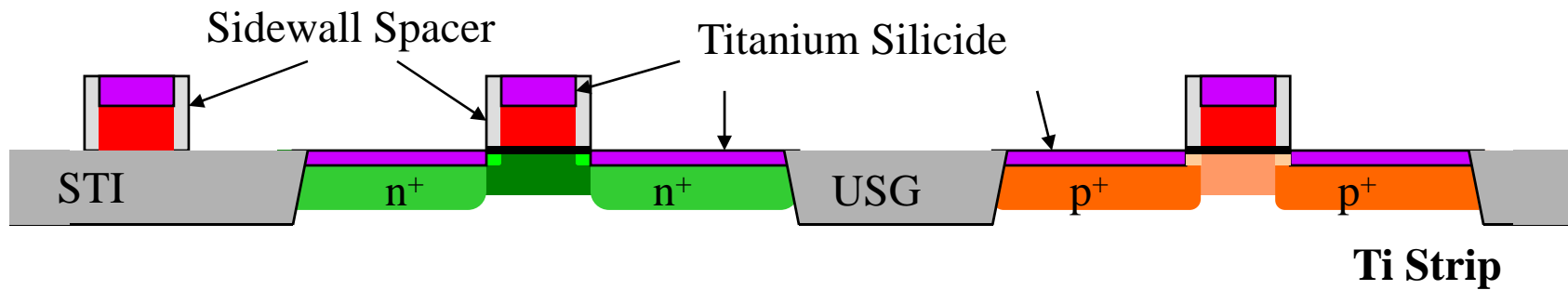
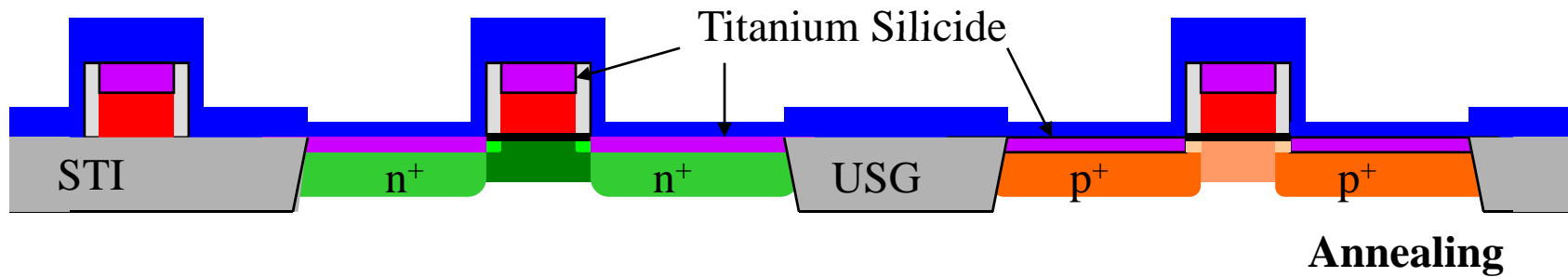
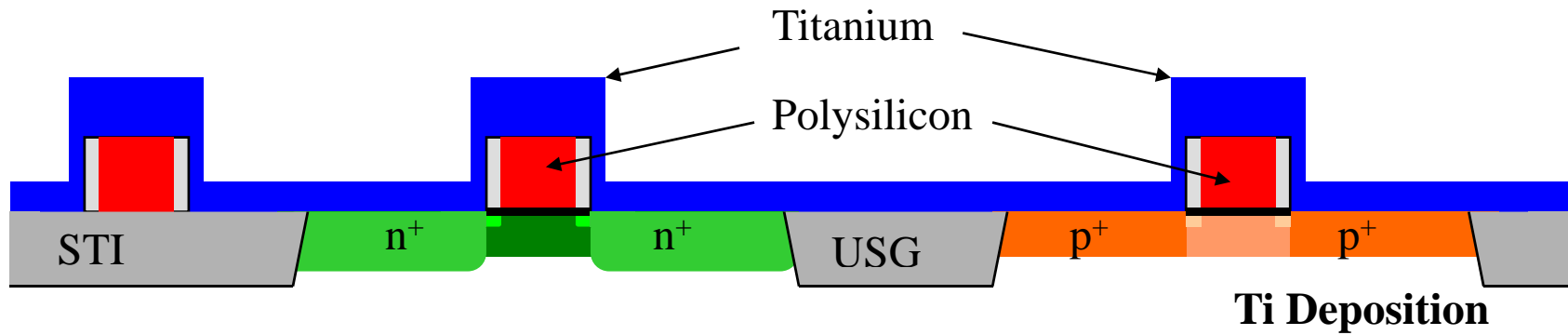
# 矽化物

- 比多晶矽具較低電阻率
- Used as gate and local interconnection
- 使用做電容器的電極
- 改善元件速度和減低熱產生
- $\text{TiSi}_2$ ,  $\text{WSi}_2$  是最常用的矽化物
- $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{MoSi}_2$  也被使用

# 鈦金屬矽化物製程

- 氬濺鍍清洗
- 鈦 PVD
- RTP 退火， $\sim 700^{\circ}\text{C}$
- 剝除鈦， $\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{SO}_4$

# 鈦金屬矽化物製程

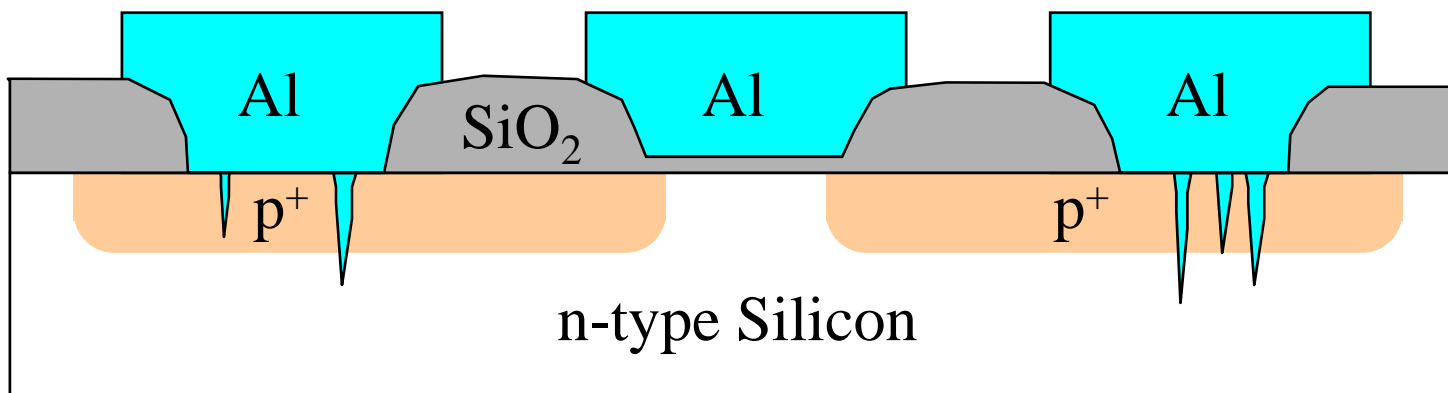




# 鈦金屬矽化物退火

- 在矽的表面
- 防止由於矽溶入鋁而產生接面尖凸 (junction spiking)

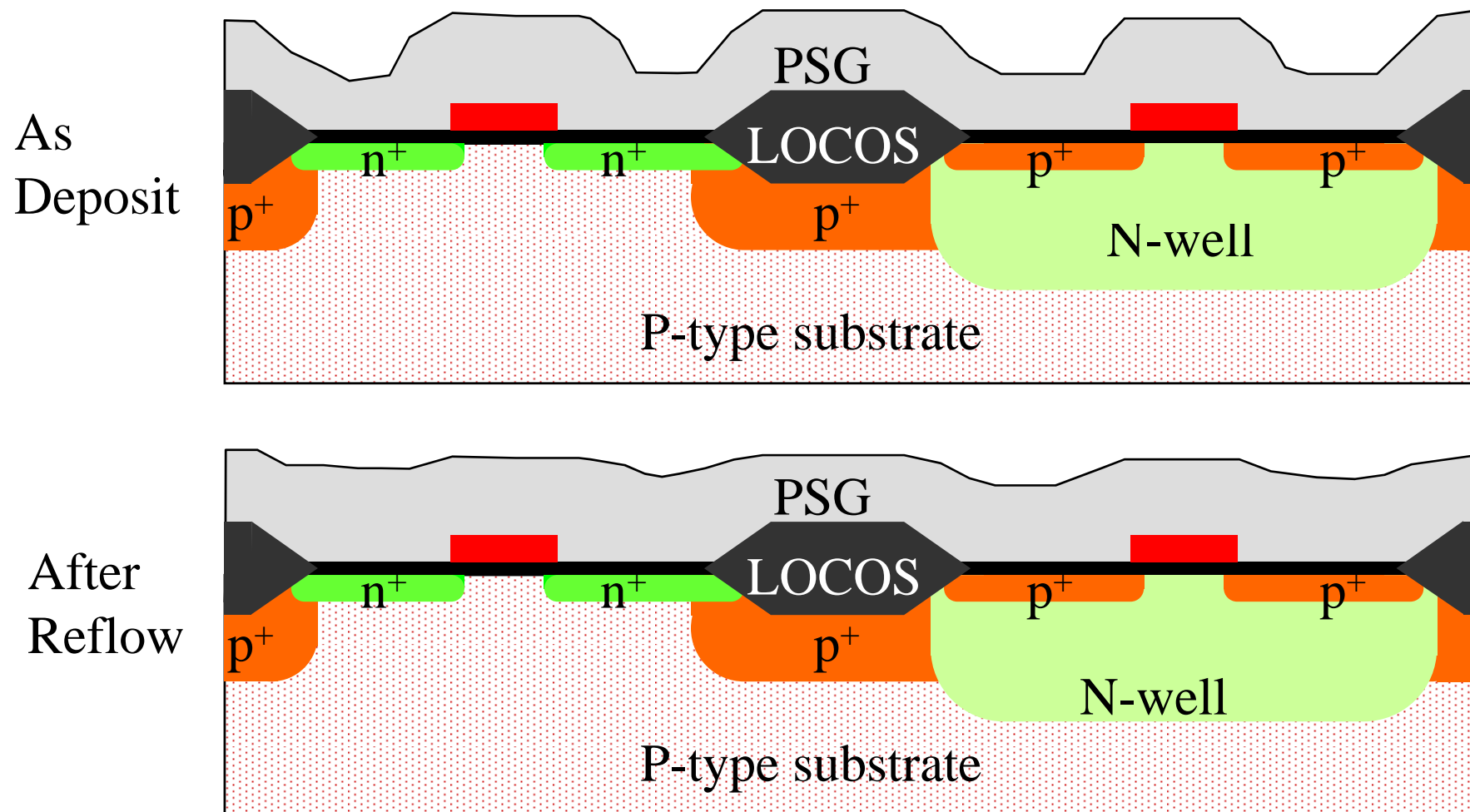
# 接面尖凸



# 再流動 (Reflow)

- 流動的表面會更平滑
- 更容易去微影及金屬化
- 越高溫，越好的流動結果
- 再流動的時間及溫度取決於熱積存
- 越高的摻雜物濃度需要較低的溫度

# 摻磷的矽玻璃 (BPSG)再流動圖示



# 再流動

- 未摻雜矽玻璃 Undoped silicate glass (USG) 在很高溫下軟化  $T > 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 由於表面張力而流動
- PSG 和 BPSG 在特定較低溫下軟化 ( $< 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  down to  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- 磷也可以捕捉鈉
- PSG 和 BPSG 一般使用做 pre-metal dielectric (PMD)

# 再流動製程

- 晶圓裝載
- 溫度上升
- 穩定溫度
- 再流動
- 溫度降低
- 晶圓卸載

# 再流動製程

- 在流動通常在氮氣環繞下
- 有時候水蒸氣也被使用
- $\text{H}_2\text{O}$  helps to fully oxidize dopant atoms

# 再流動製程

- 越小的元件，其熱積存越小
- 對0.25微米以下的元件來說，沒有足夠的熱積存供再流動使用
- PSG 退火 ( $\sim 750^{\circ}\text{C}$ ) 取代再流動



# 退火摘要

- 最常使用的退火製程有佈植後退火，合金熱處理，和再流動
- 離子佈植後需要熱退火來修復晶格結構和活化摻雜原子
- 熱退火幫助矽和金屬反應形成矽化物

# 退火摘要

- 金屬退火幫助形成較大的經立大小核減低電阻率
- PSG or BPSG 再流動平滑介電質表面和幫助微影及金屬化製程
- RTP 更常使用在退火製程上

# 退火摘要

- RTP 的優點
  - 較快的加熱斜率 (75 to 150 °C/sec)
  - 較高的溫度 (up to 1200 °C)
  - 較快的製程
  - 減低摻雜物的擴散
  - 較佳的熱積存控制
  - 較佳的晶圓對晶圓的均勻性控制

# 高溫沉積製程

# What is CVD

## 化學氣相沉積 (Chemical Vapor Deposition)

- 氣體化學反應在基底表面，並形成由固化的副產物所沉積在表面的薄膜
- 另外副產物是由表面離開的氣體
- 廣泛使用在IC製造，介電質和矽薄膜的沉積

# 高溫 CVD

- 磊晶 (Epitaxy)
- 多晶矽 (Polysilicon)
- 氮化矽 (Silicon Nitride)

# 磊晶

- Monocrystalline layer
- 磊晶矽
- Epitaxy silicon-germanium
- Epitaxy GaAs

# 磊晶矽

- 提供高品質矽基底而不需氧和碳
- 雙載子元件所需求
- 高效能 CMOS 元件所需求

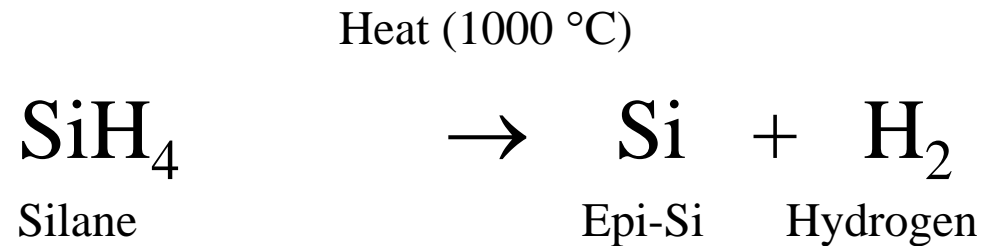


# 磊晶矽

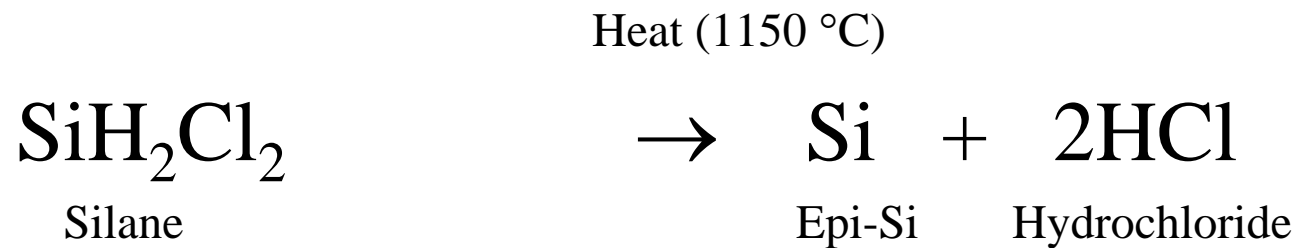
- 高溫 ( $\sim 1000^\circ\text{C}$ ) 製程
- 矽烷 Silane ( $\text{SiH}_4$ )，二氯矽烷 DCS ( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ) 或三氯矽烷 TCS ( $\text{SiHCl}_3$ ) 做為矽源氣體
- 氫做為製程氣體和吹除淨化氣體
- 三氫化砷 Arsine ( $\text{AsH}_3$ )，三氫化磷 Phosphine ( $\text{PH}_3$ )，和氫化硼 Diborane ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ) 是使用做摻雜氣體

# 磊晶矽沉積

- 矽烷製程

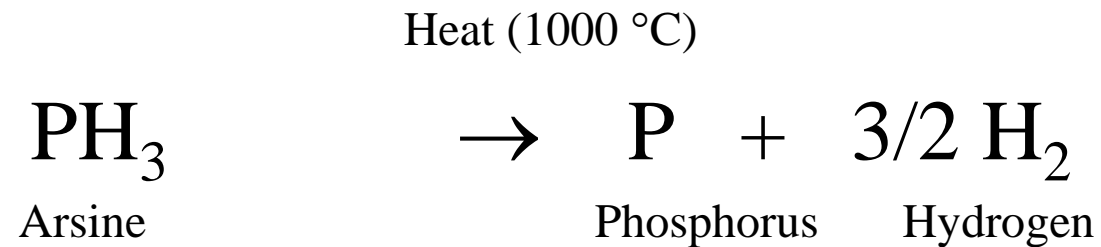
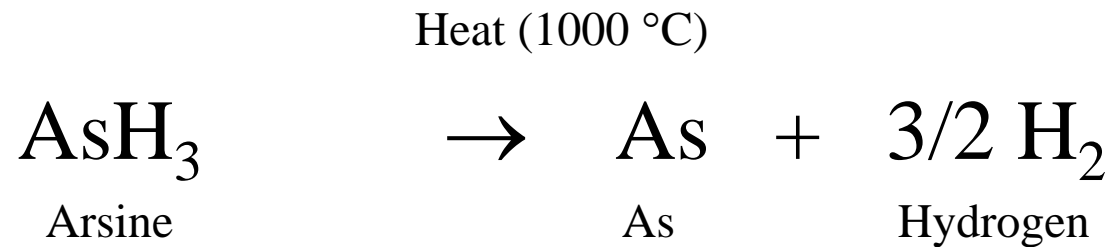


- DCS 製程



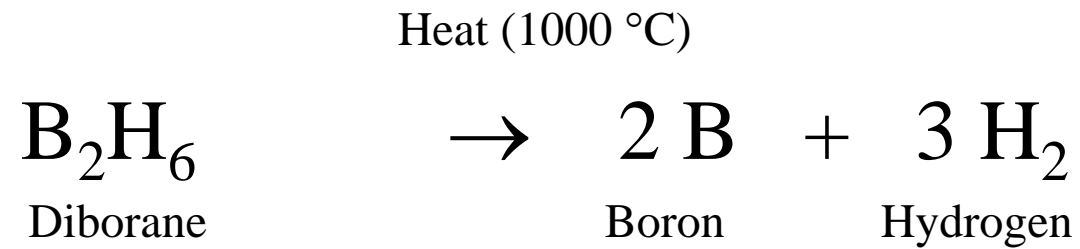
# 磊晶矽摻雜

- N-type 摻雜物



# 磊晶矽摻雜

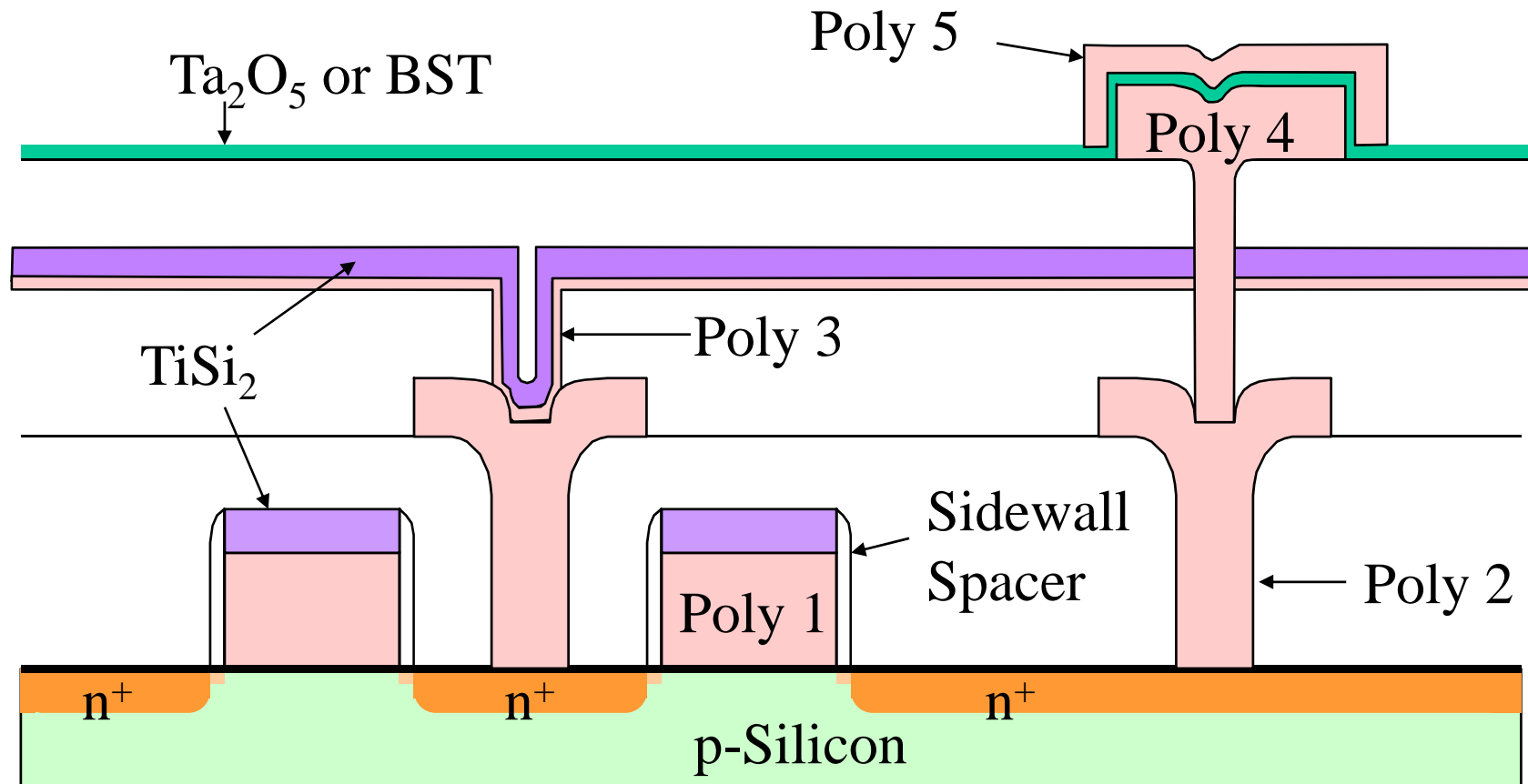
- P-type 摻雜物



# 磊晶矽

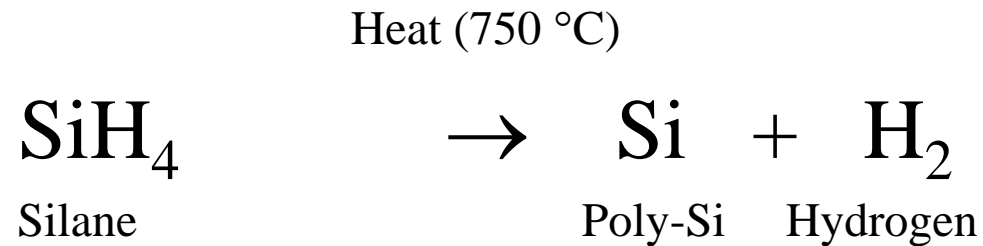
- 通常由晶圓製造業者沉積而不是IC製造廠
- 在製造廠的磊晶製程:特別需要如摻雜物集中和磊晶厚度
- 選擇性磊晶做為凸起的源極/汲極
- 單晶圓磊晶製程

# 多晶矽應用在 DRAM

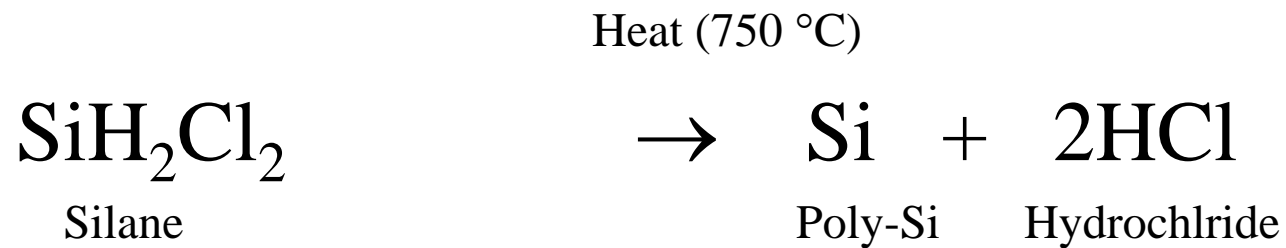


# 多晶矽沉積

- 矽烷製程

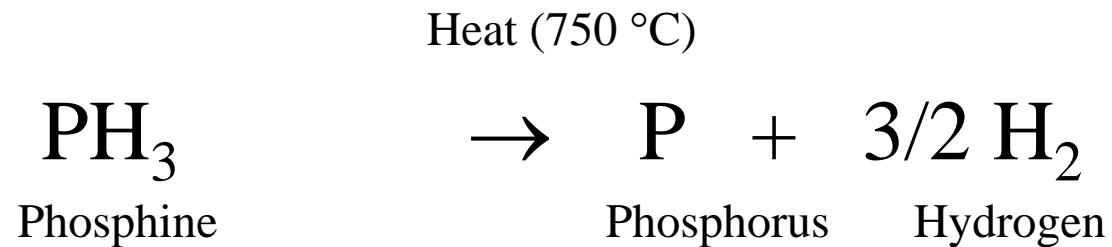
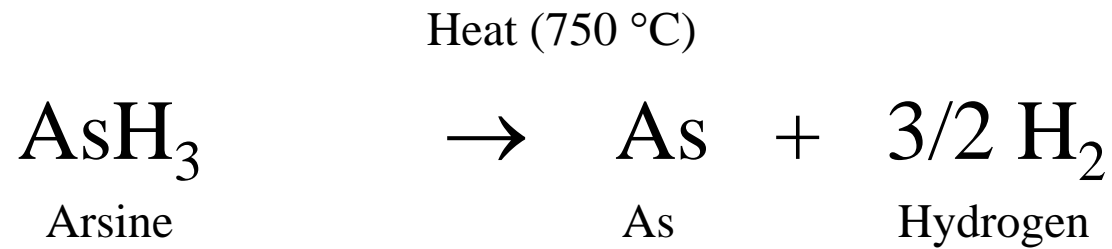


- DCS 製程



# 多晶矽摻雜

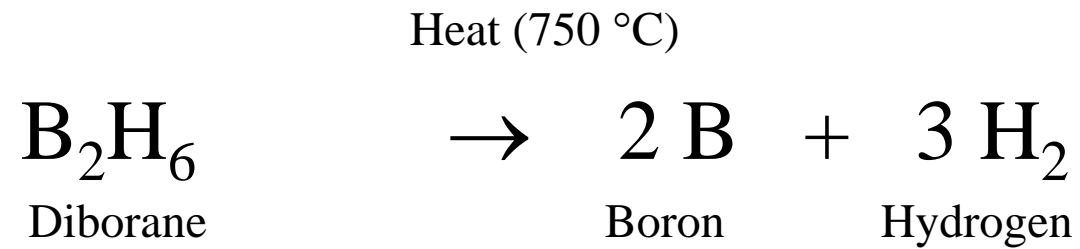
- N-type 摻雜物





# 多晶矽摻雜

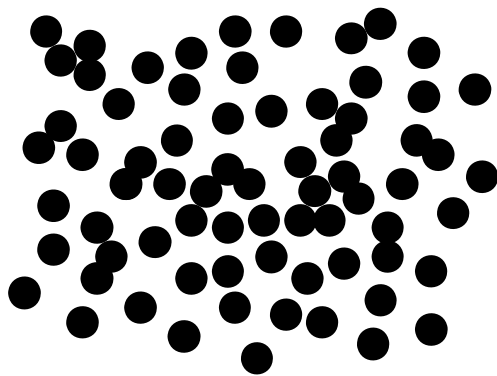
- P-type 摻雜物



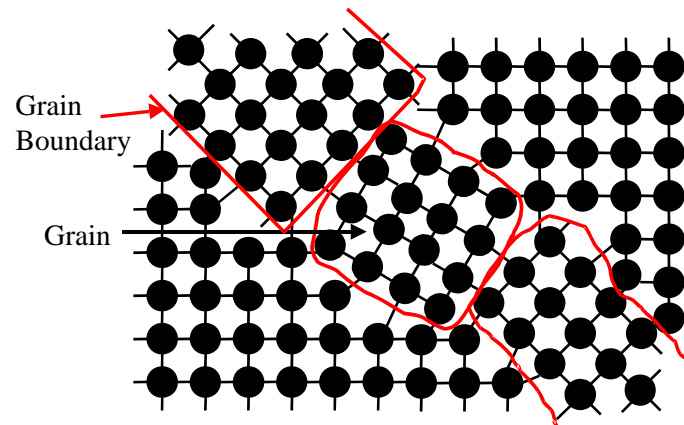
# 矽烷製程的溫度關係

- 在單晶矽基底
- 矽烷是氣體來源
- $T > 900\text{ }^{\circ}\text{C}$  沉積單晶矽
- $900\text{ }^{\circ}\text{C} > T > 550\text{ }^{\circ}\text{C}$  沉積多晶矽
- $T < 550\text{ }^{\circ}\text{C}$  沉積非晶態矽

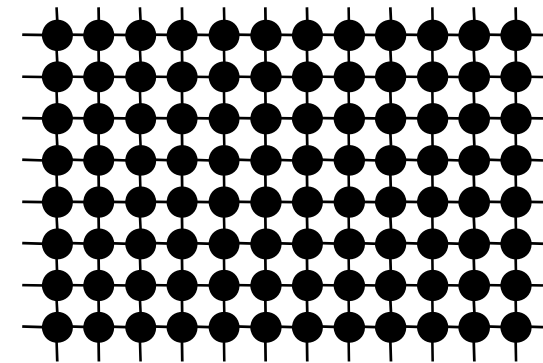
# 矽烷製程的溫度及晶格結構



$T < 550\text{ }^{\circ}\text{C}$   
Amorphous Si



$550\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 900\text{ }^{\circ}\text{C}$   
Polysilicon

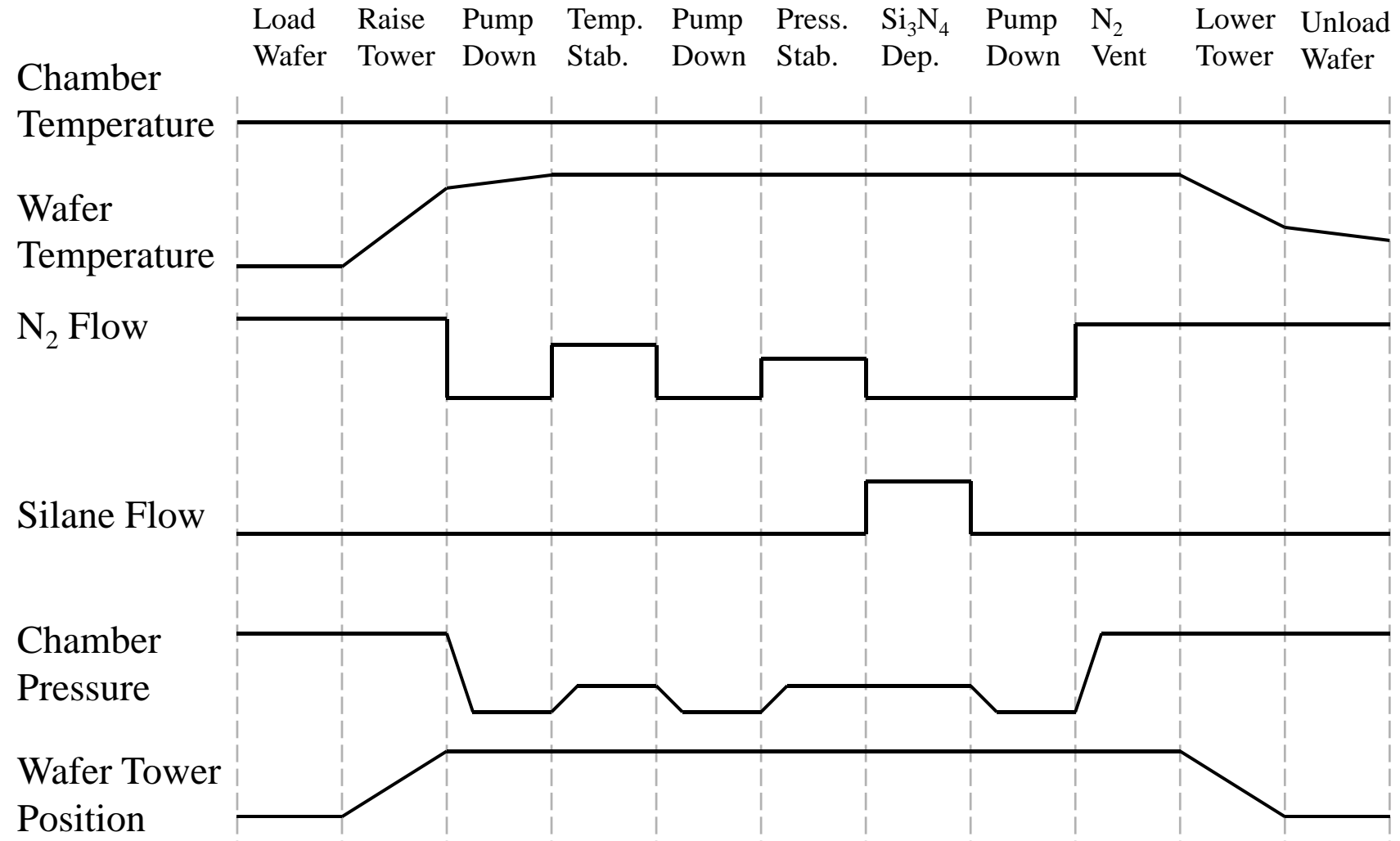


$T > 900\text{ }^{\circ}\text{C}$   
Single Crystal Si

# 多晶矽沉積製程

- 閒置狀態注入吹除淨化氮氣流
- 閒置狀態注入製程氮氣流
- 注入製程氮氣流下裝載晶圓
- 在製程氮氣流下升起塔座至製程反應室(鐘型罩)
- 關掉氮氣流，反應室抽至基本壓力 ( $< 2$  mTorr)
- 以氮氣流下穩定晶圓溫度和檢查缺陷
- 設定製程壓力 ( $\sim 250$  mTorr) 在氮氣流下
- 注入  $\text{SiH}_4$  流和關掉氮氣開始沉積
- 關閉閘極活門注入氮氣，升壓至大氣壓
- 在製程氮氣流下冷卻晶圓溫度和降下塔座
- 在製程氮氣流下卸載晶圓
- 閒置下注入吹除淨化氮氣流

# 多晶矽沉積製程



# 氮化矽

- 細密的材料
- 廣泛使用成擴散遮蔽層和鈍化層
- LPCVD (front-end) and PECVD (back-end)
- LPCVD 氮化物通常在高溫爐下沉積

# 快速加熱製程

# 快速加熱製程 (RTP)

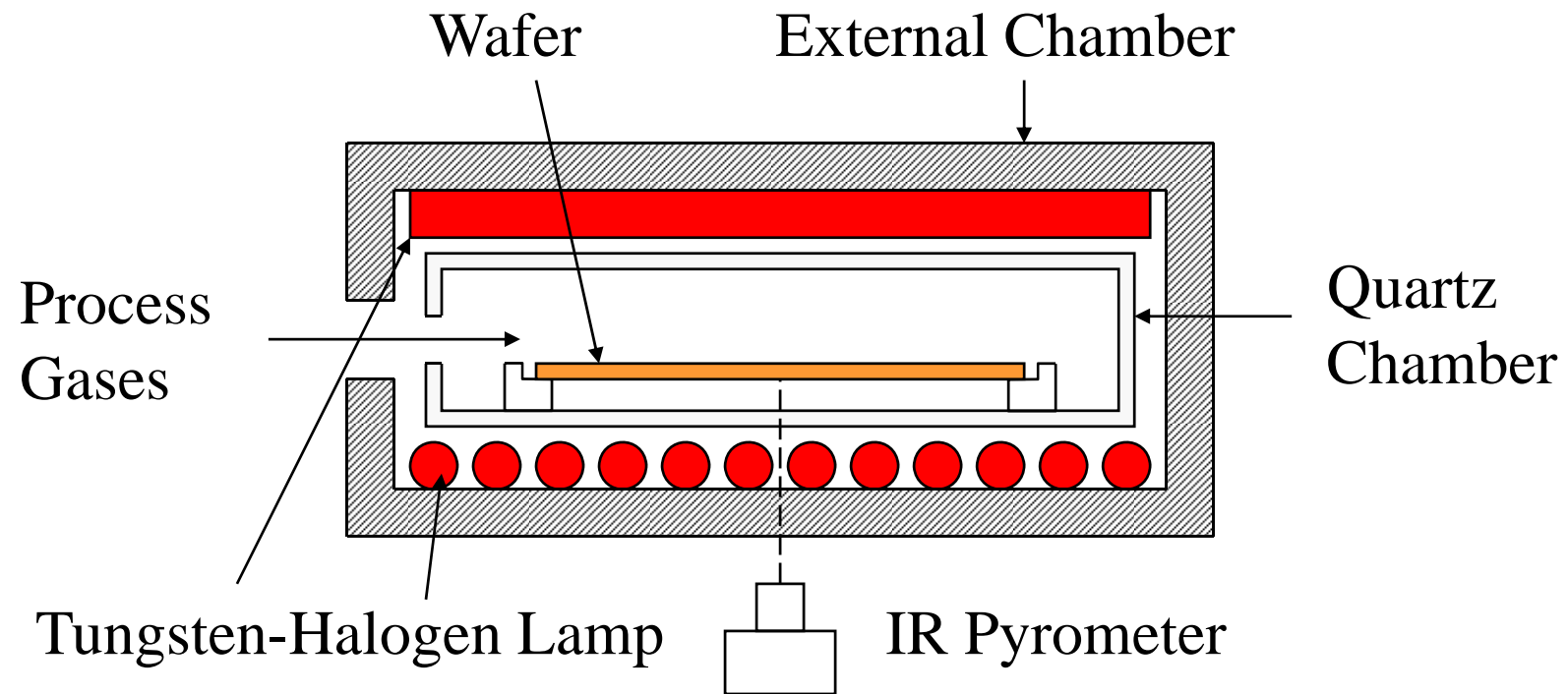
- 主要使用在佈植後快速加熱退火 (RTA) 製程
- 快速加熱溫度，100 to 150 °C/sec 和在水平是高溫爐的15 °C/min 比較
- 減少熱積存和較易的製程控制



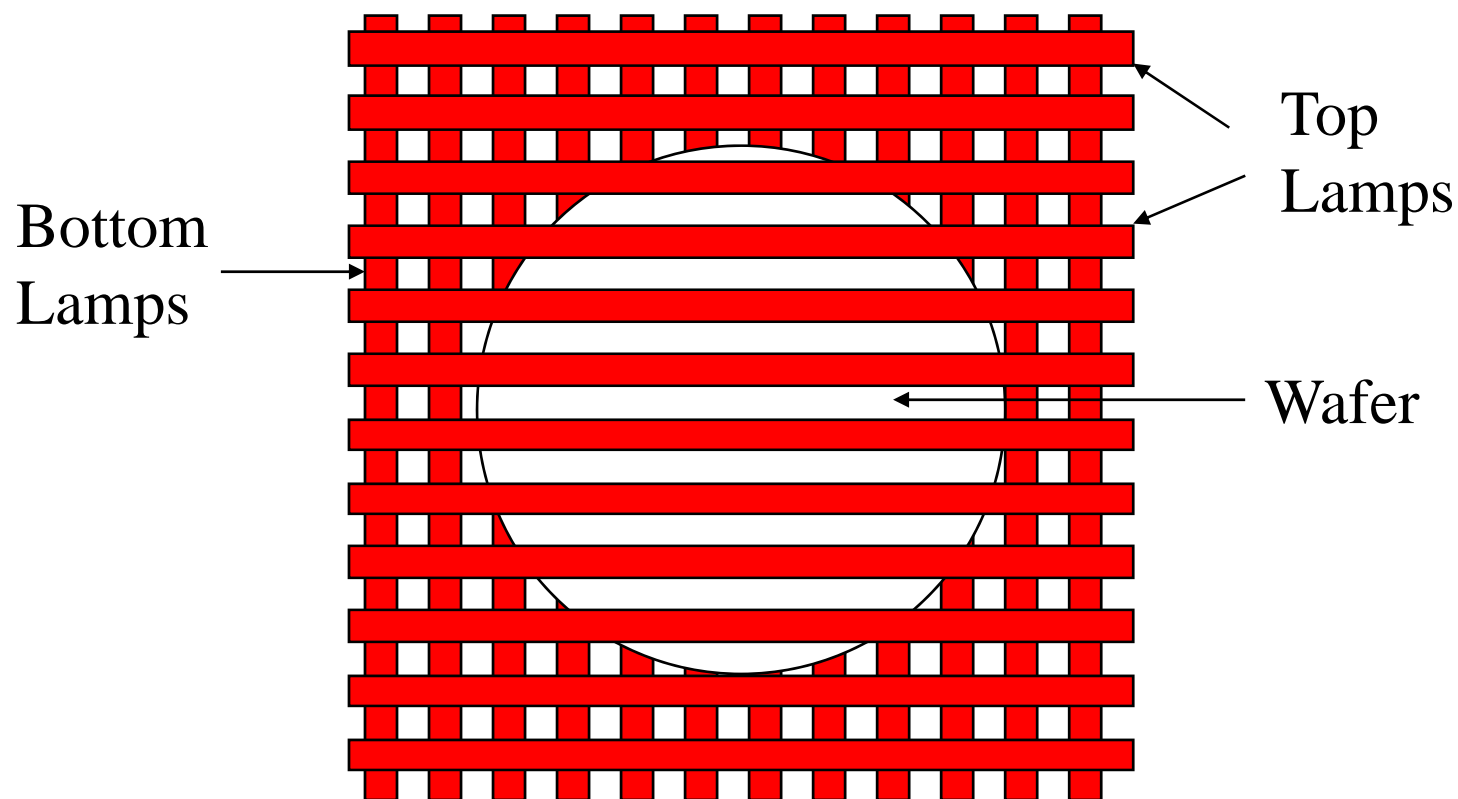
# 快速加熱製程 (RTP)

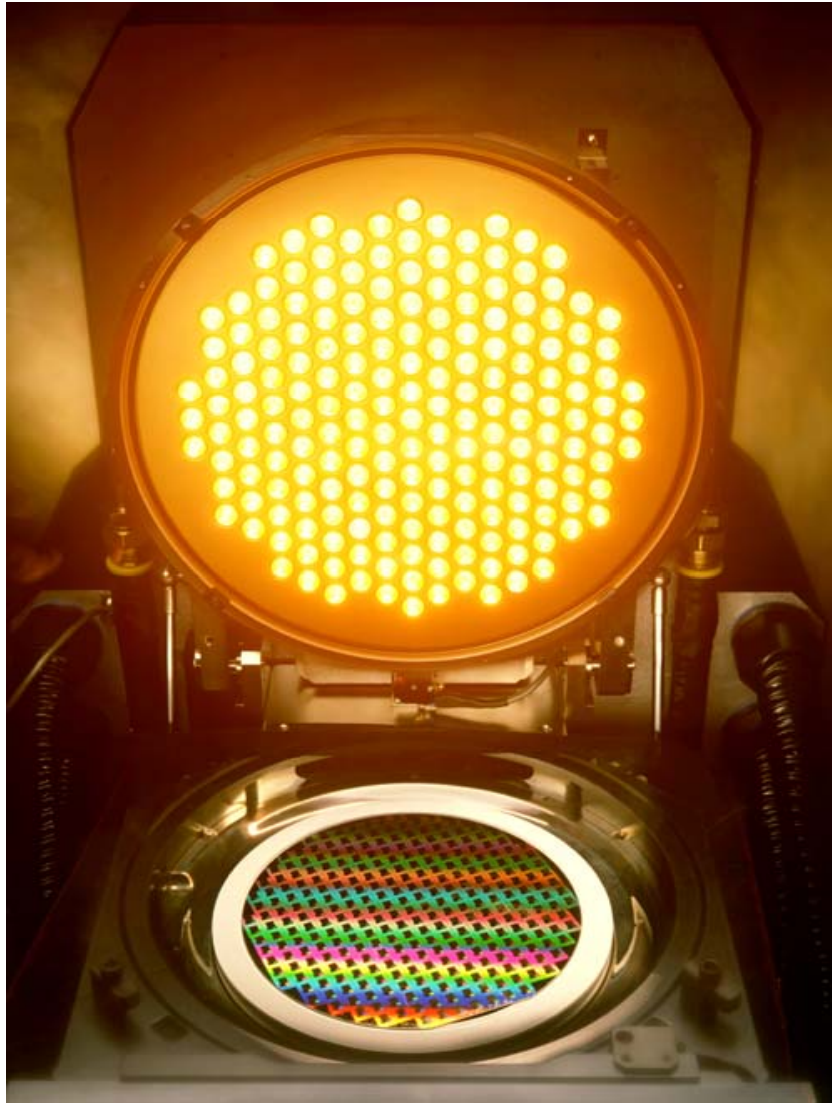
- 單晶圓快速加熱 CVD (RTCVD) 反應室可被用在多晶矽和氮化矽的沉積上
- RTCVD 反應室能與其他製程反應室合併成群集工具作一連串製程
- 爲了晶圓對晶圓的均勻性控制，薄氧化層 ( $< 40 \text{ \AA}$ ) 以 RTO 方式成長

# RTP 反應室



# 加熱燈管排列





# RTP 反應室

Photo courtesy of  
Applied Materials, Inc

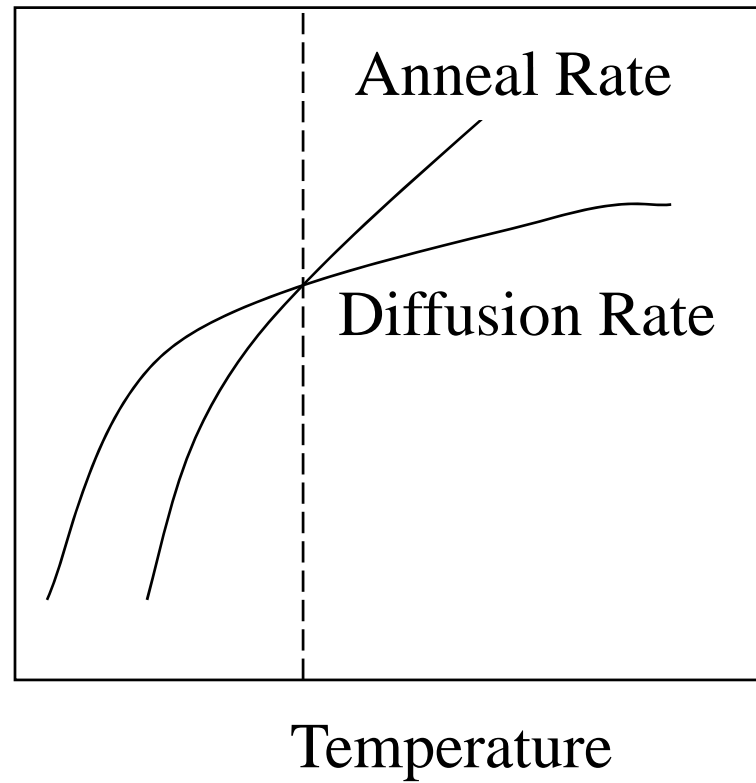
# 退火及摻雜物擴散

- 在較高溫下  $>1100^{\circ}\text{C}$  退火要比擴散快
- 佈植後較喜愛在高溫及高加熱斜率
- 單晶圓快速加熱製程工具已經開始發展此項應用上

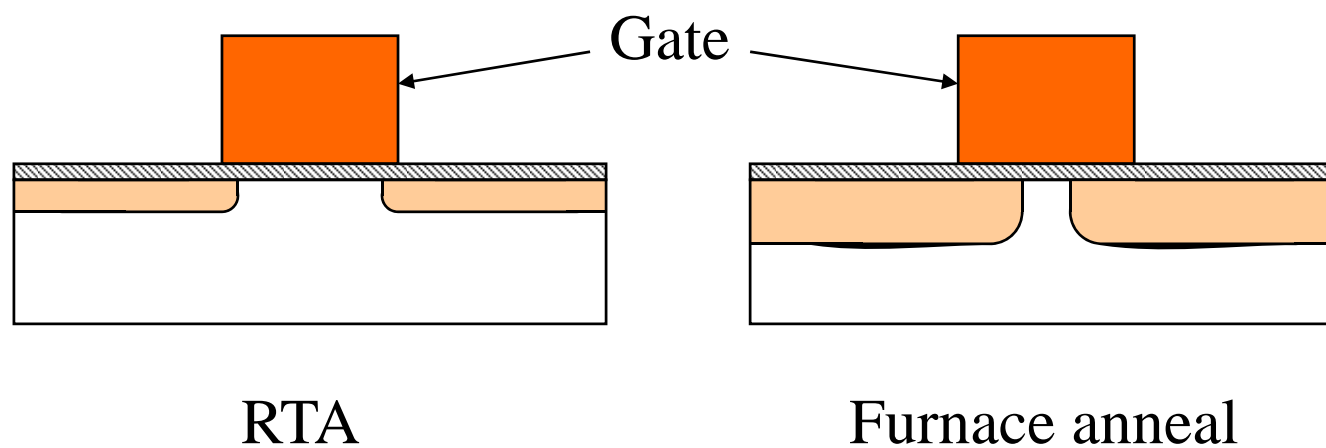
# 退火及摻雜物擴散

- 摻雜原子在高溫下擴散
- 高溫爐具低的加熱斜率 ( $\sim 10^\circ\text{C}/\text{min}$ ) 猶未了有高熱容積率
- 高溫爐退火是一種長時間製程，因而產生更多的摻雜物擴散
- Wafer at one end gets more anneal than wafer at another end

# 退火及摻雜物擴散



# 退火後摻雜物的擴散

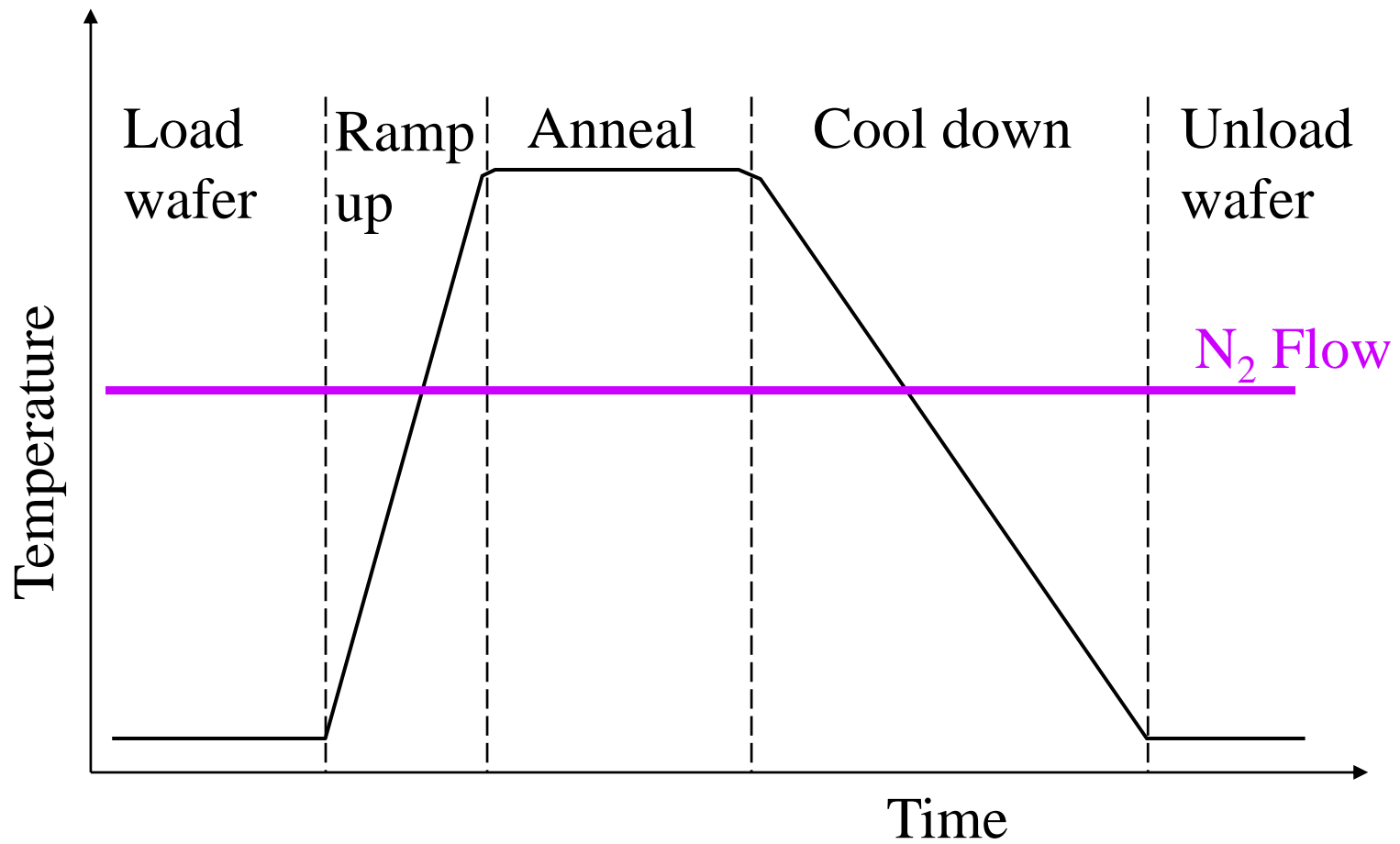




# 在高溫爐中RTP的優點

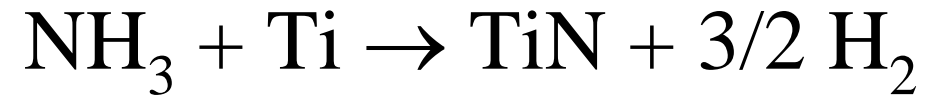
- 更高快速的斜率 (75 to 150 °C/sec)
- 較高的溫度 (up to 1200 °C)
- 快速的製程
- 減少摻雜物的擴散
- 較佳的熱積存(Thermal budget)控制
- 較佳的晶圓對晶圓(WTW)均勻性控制

# RTP 的溫度變化

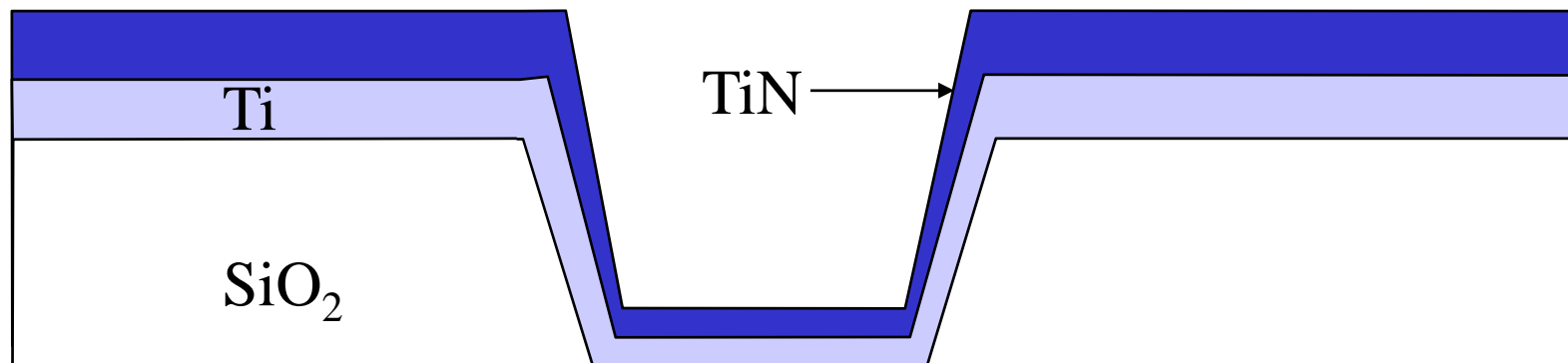
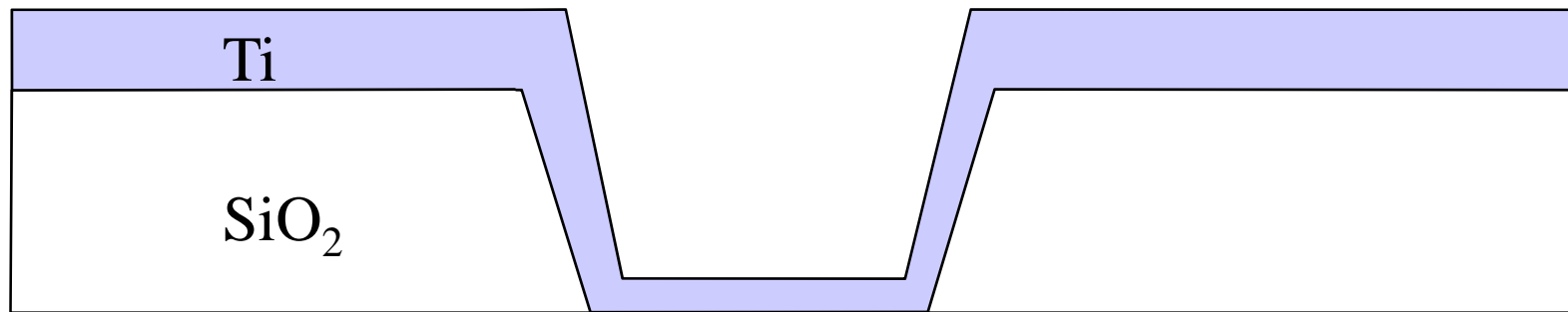


# 氮化物

- Titanium PVD
- 熱氮化反應 with  $\text{NH}_3$



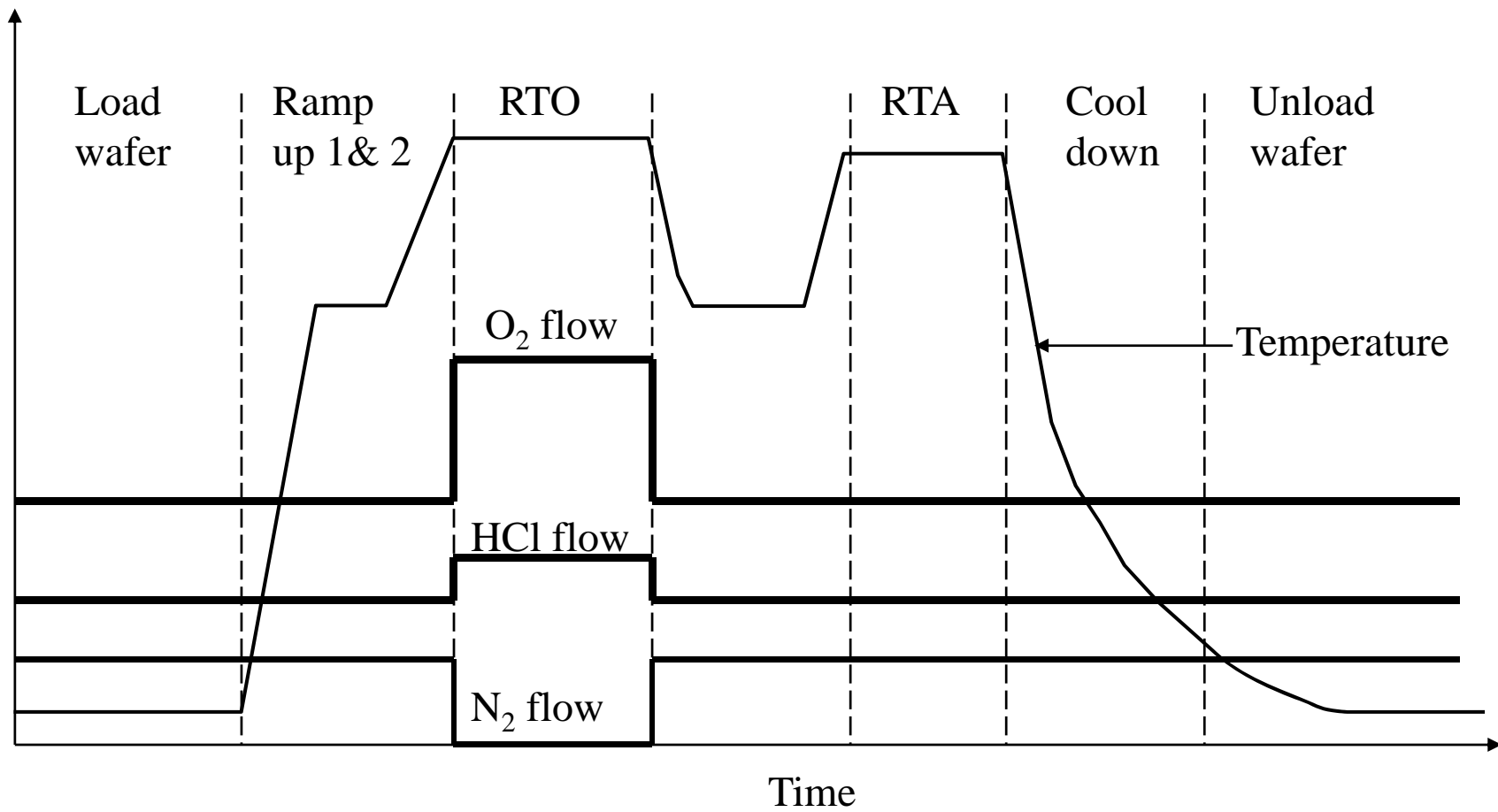
# 氮化鈦



# RTO 製程

- 極薄的氧化矽層  $< 30\text{\AA}$
- 較佳的 WTW( wafer to wafer)均勻性
- 較佳的熱積存控制

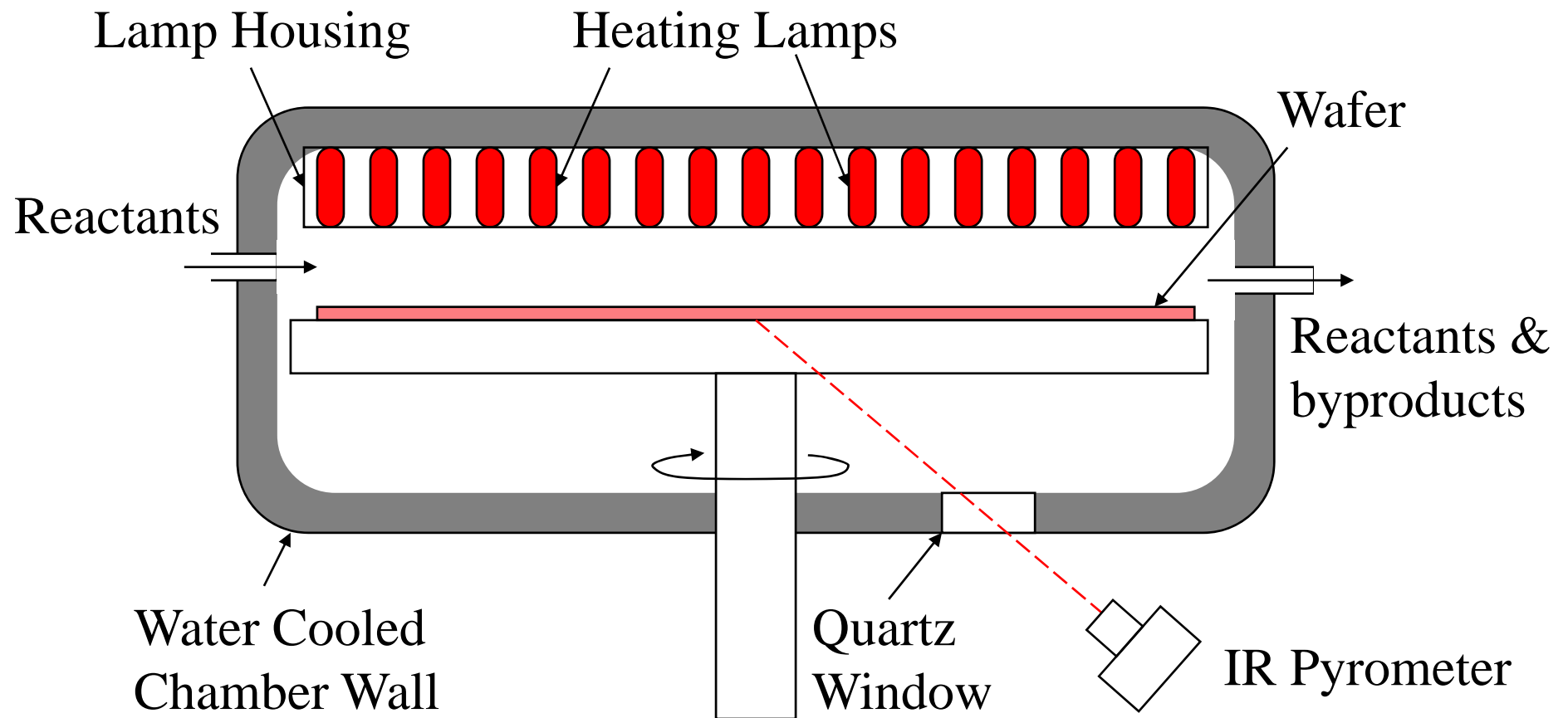
# RTP 製程圖示



# 未來趨勢

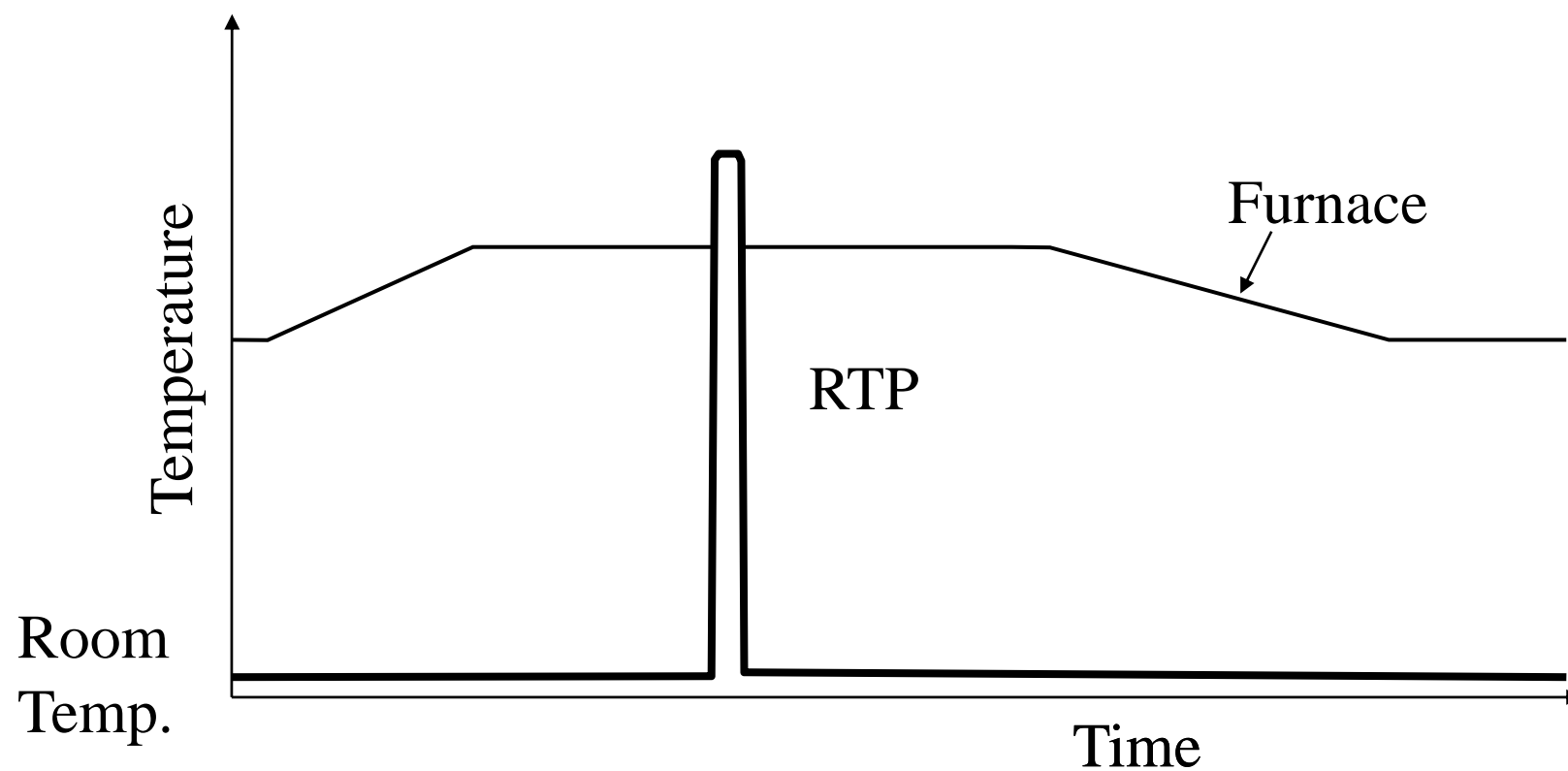
- 快速加熱製程 (RTP)
- In-situ process monitoring
- 群集工具
- 高溫爐仍然使用

# RTCVD 反應室





# RTP的溫度 & 高溫爐



# RTP摘要

- 快速
- 較佳的製程控制
  - 熱積存
  - 晶圓對晶圓均勻性
- 減少摻雜物擴散
- 群集工具，簡單的製程整合

# 加熱製程摘要

- 氧化；擴散；退火；沉積
- 濕氧化是快速的，乾氧化具較佳的薄膜品質；先進製程:主要是乾氧化
- 在製造上，擴散摻雜作為氧化遮蔽層
- LPCVD 多晶矽和 front-end 氮化矽
- 退火修復晶格和活化摻雜物
- RTP: 良好控制，快速，低擴散
- 高溫爐:高生產量和低成本，仍然在未來製造中使用