

今朝のお話 (2025.03.12)にはSLIDEがありません。

半導体部品とは？

金属と絶縁体とP型とN型の
半導体の組み合わせ構造！

物質には電気を通す金属と、電気をまったく通さない絶縁体があります。

またその中間の半導体という物資があります。

金属には鉄や銅や金や銀やアルミがあります。

絶縁体にはガラス（シリコン原子の酸化物で、 SiO_2 など）があります。
ゴムも電気を通さないので絶縁体の仲間です。

半導体の材料もいろいろな物質があります。

シリコンは地球上に砂（シリコンの酸化物）の形で豊富に存在します。

A1) あたたかい白米ごはんは Intrinsic Silicon 結晶体

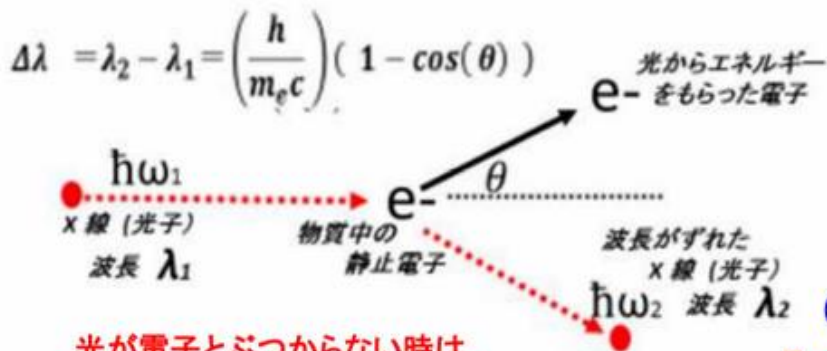
A2) お赤飯（赤豆を混ぜたほっかほっかごはん）は、P型 Silicon 結晶体

A3) 豆ごはん（青豆を混ぜたほっかほっかごはん）は、N型 Silicon 結晶体

イメージセンサの動作原理 **金属とは？**

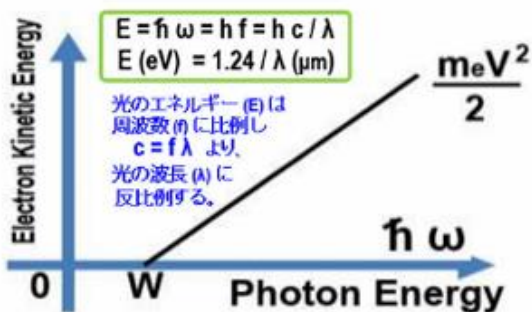
● **光は波でもあり、また粒子(光子)でもある (Albert Einstein 1900)**

- 玉突きと同じ古典物理モデルで記述できる。
- 反射光の角度と波長の関係から**電子の質量**が求まる！



光が電子とぶつからない時は $\theta=0$ で光は直進し波長の変化はない。

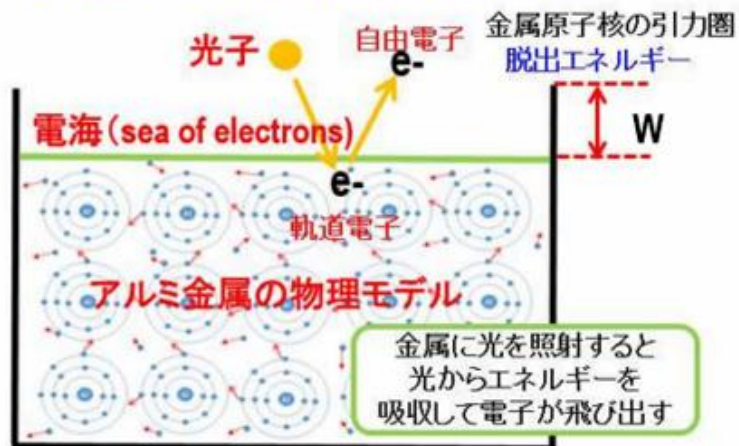
- 光の速度 $C = 2.99792458 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$
- Planck 定数 $h = 6.62606957 \times 10^{-34} \text{ Joule}\cdot\text{sec}$
- 電子の質量 $m_e = 9.10938291 \times 10^{-31} \text{ kg}$



Work Function (W)の値から金属の種類が判明する。

(脱出エネルギー) = 半導体のEnergy Gap
For Silicon, $E_g = 1.10 \text{ eV}$ and $\lambda = 1.12 \mu\text{m}$

- 金属の物理モデル(器の中に入った水モデル)

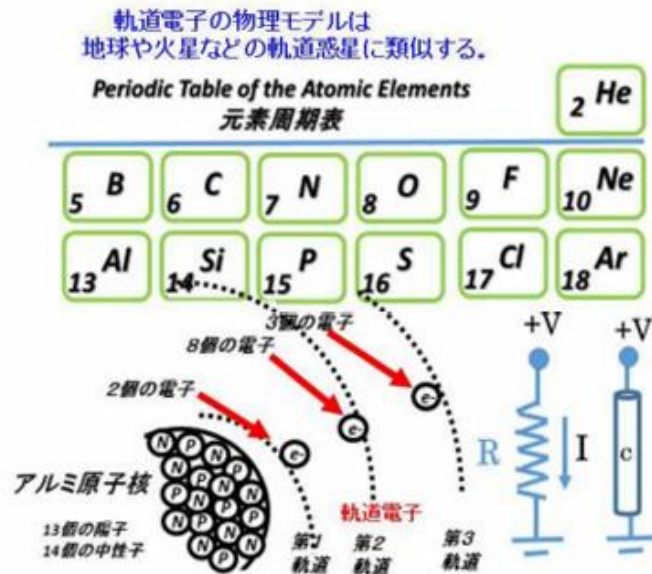


金属は、水が入った器に対応します！

半導体とは？

半導体にはN型とP型の2種類がある！

●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似



$$\text{アルミ原子(中性)}_{13} = \text{アルミイオン}(Al^+)_{12} + \text{自由電子}(e^-)$$

$$\text{シリコン原子(中性)}_{14} = \text{シリコンイオン}(Si^+)_{13} + \text{自由電子}(e^-)$$

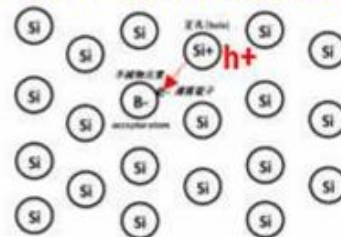
$$\text{りん原子(中性)}_{15} = \text{りんイオン}(P^+)_{14} + \text{自由電子}(e^-)$$

$$\text{ボロンの原子(中性)}_5 + \text{自由電子}(e^-) = \text{ボロンイオン}(B^-)_6$$

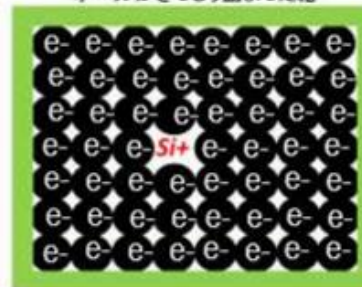
●自由電子は当然空間を自由に浮遊し移動する。しかし、結晶体の中でも、結晶体の原子核の引力圏の外では自由に電子は浮遊することができる。

●シリコン結晶体では、電子を1つ失ったシリコンイオン(Si+) は隣接する中性のシリコン原子から電子を1つ盗み、中性にもどる。その電子を盗まれた、シリコンイオン(Si+) は、また別の中性のシリコン原子から電子を盗む。ホールはこうして移動する。

P型半導体の物理モデル



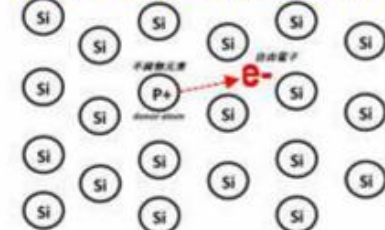
ホールがぎっしり詰まった箱



Holeが主役

プラス電荷の粒 (HOLE)が主役

N型半導体の物理モデル



空っぽの箱

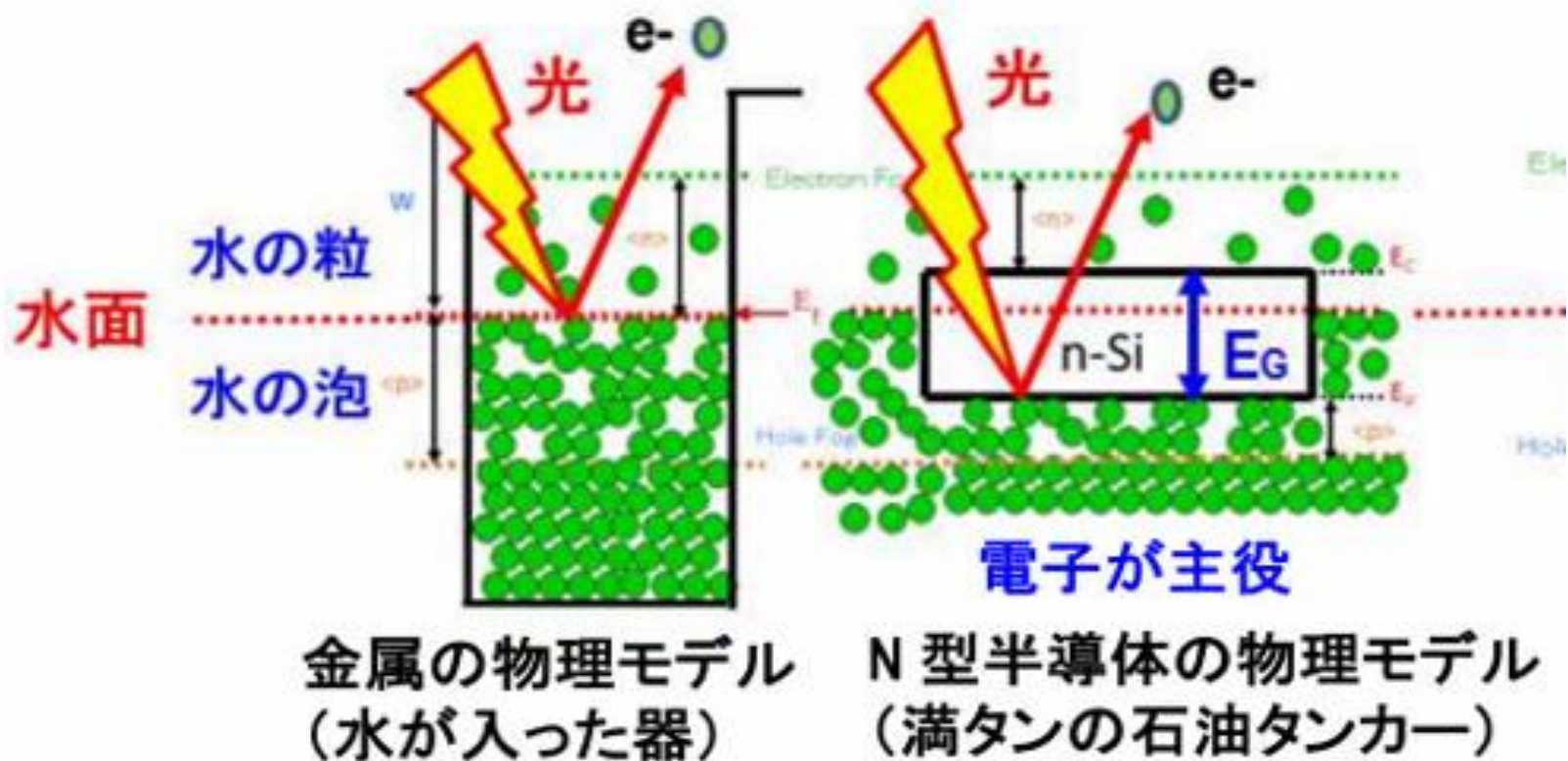


電子が主役

マイナス電荷 (電子) の粒が主役

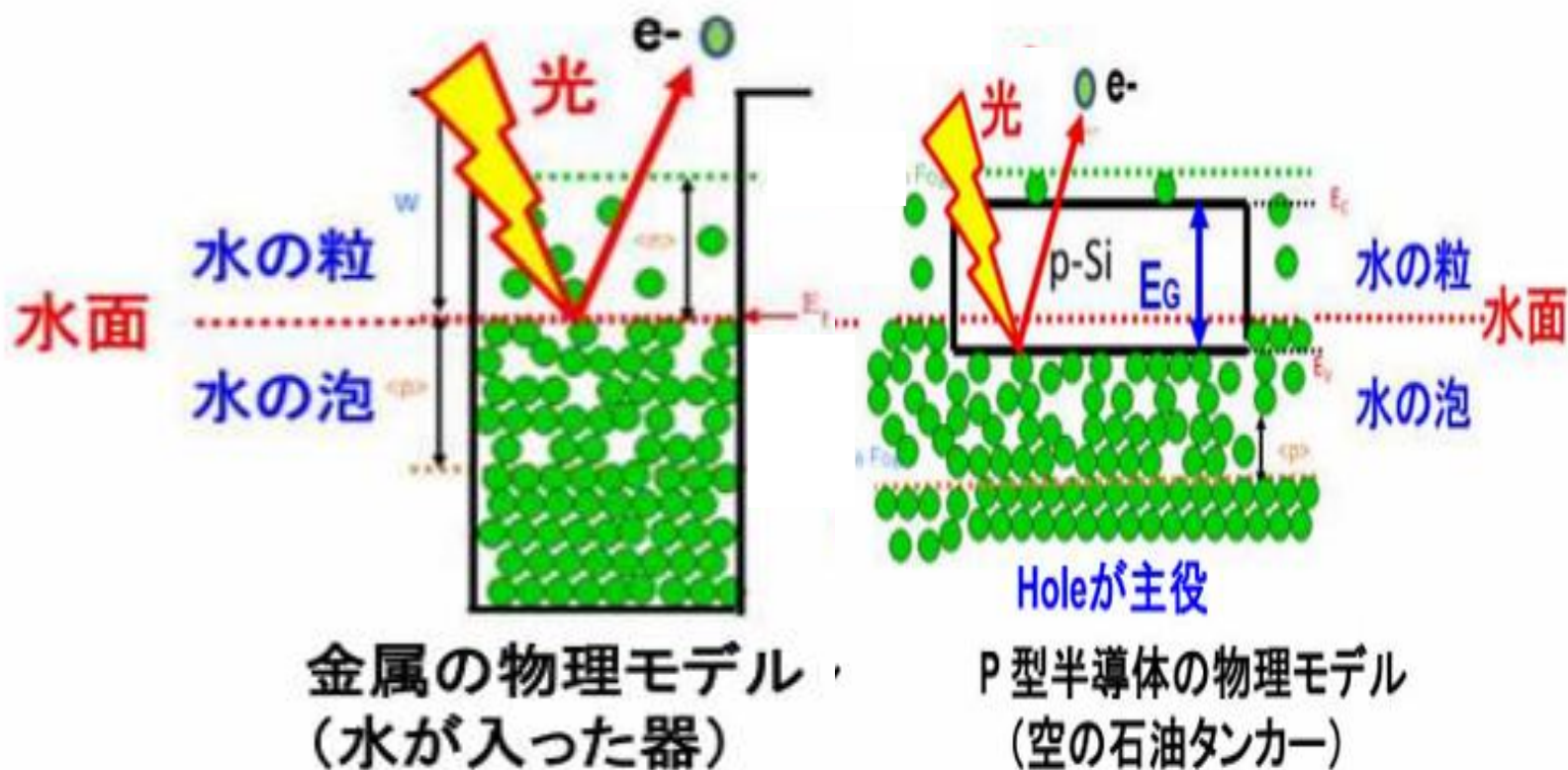
4. イメージセンサの動作原理

- 金属の物理モデルは、器に入った水にたとえる事が可能。
- N型半導体の物理モデルは満タンの石油タンカー船に、
- P型半導体の物理モデルは空の石油タンカー船に似ている。



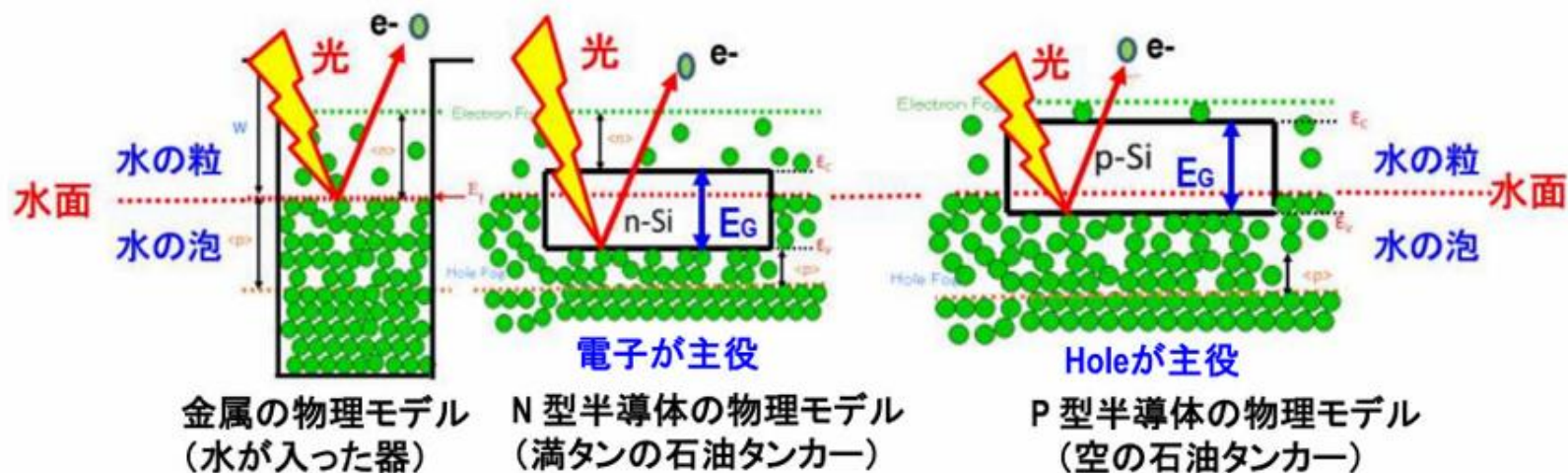
4. イメージセンサの動作原理

- 金属の物理モデルは、器に入った水にたとえる事が可能。
- N型半導体の物理モデルは満タンの石油タンカー一船に、
- P型半導体の物理モデルは空の石油タンカー一船に似ている。



4. イメージセンサの動作原理

- 金属の物理モデルは、器に入った水にたとえる事が可能。
- N型半導体の物理モデルは満タンの石油タンカー船に、
- P型半導体の物理モデルは空の石油タンカー船に似ている。



$$E = \hbar \omega = hf = hc / \lambda$$
$$E \text{ (eV)} = 1.24 / \lambda \text{ (\mu m)}$$

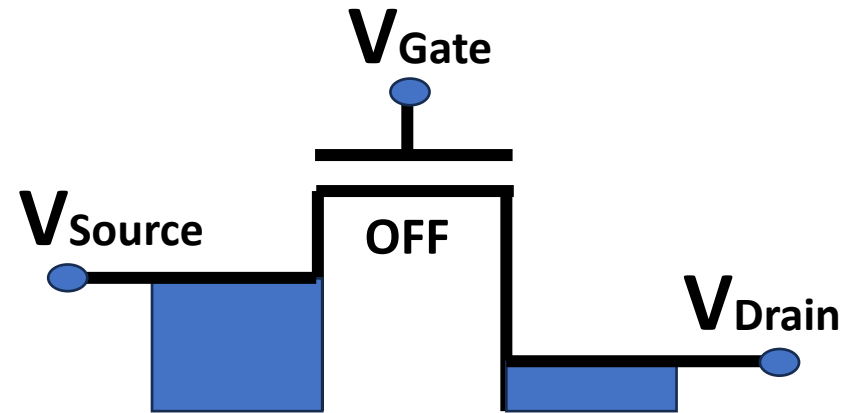
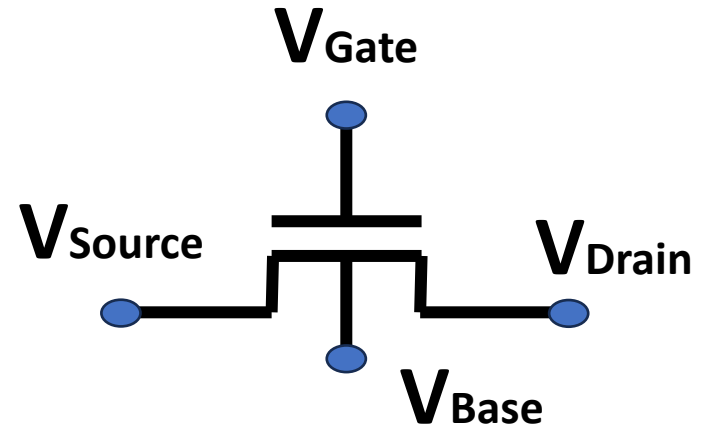
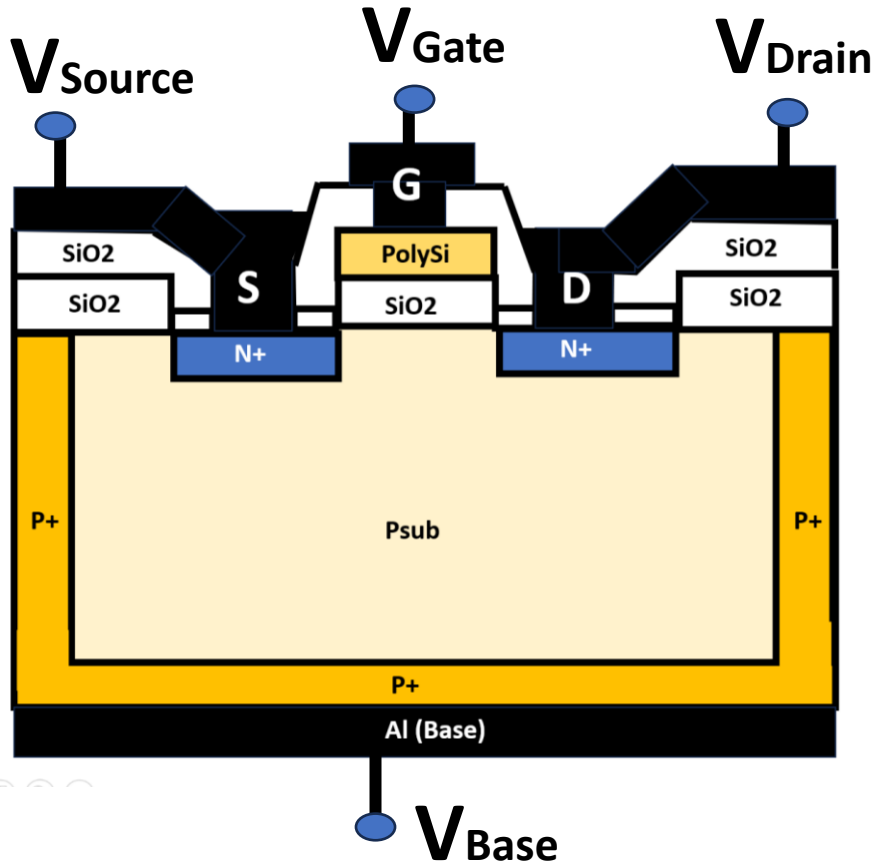
For Silicon, $E_G = 1.10 \text{ eV}$ and $\lambda = 1.12 \text{ \mu m}$

光のエネルギー (E) は周波数 (f) に比例し
 $c = f\lambda$ より、光の波長 (λ) に反比例する。

自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

MOSトランジスタとは??

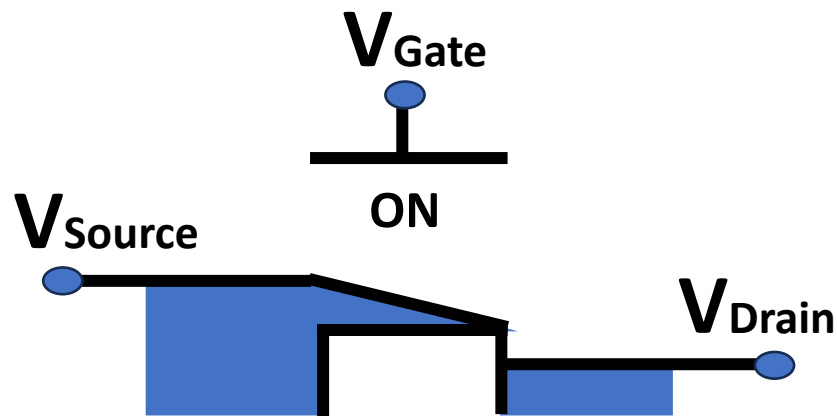
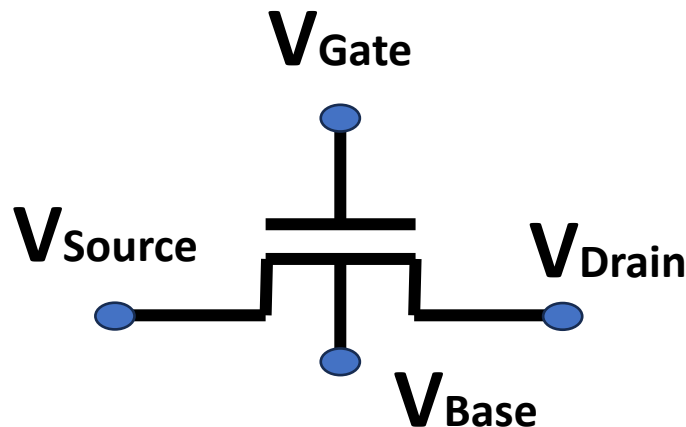
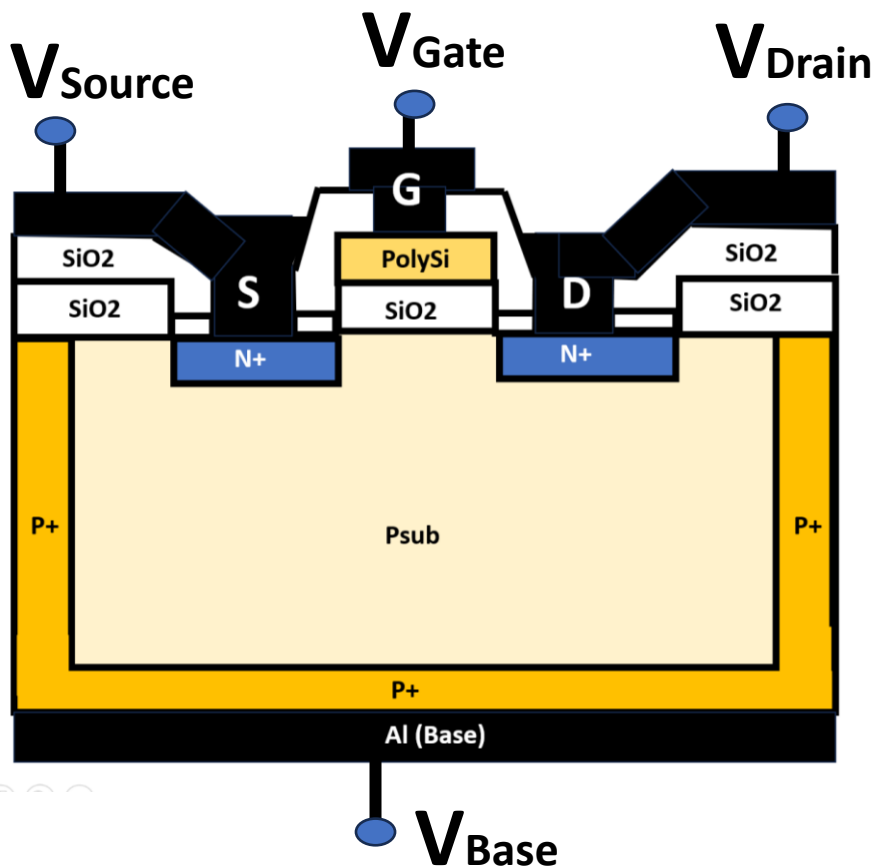
金属と絶縁体とP型とN型の半導体の組み合わせ構造!



自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

MOSトランジスタとは??

金属と絶縁体とP型とN型の半導体の組み合わせ構造!

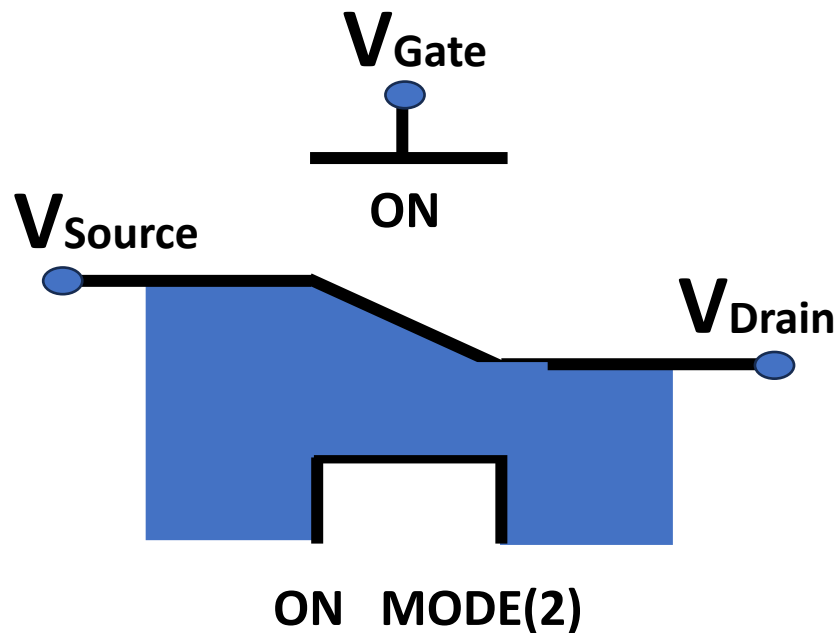
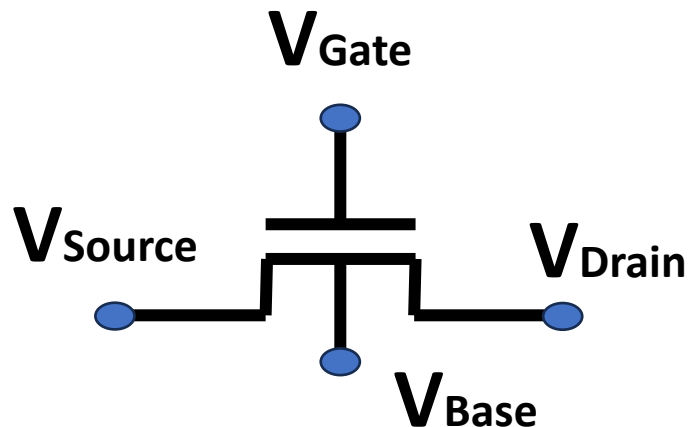
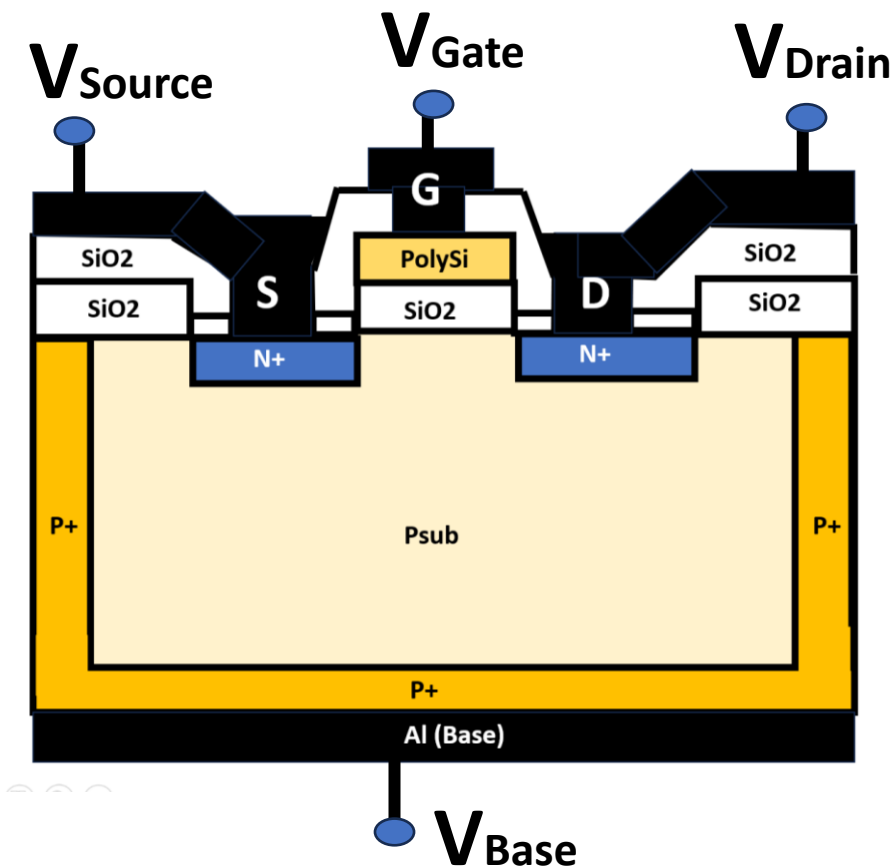


ON MODE(1)

自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

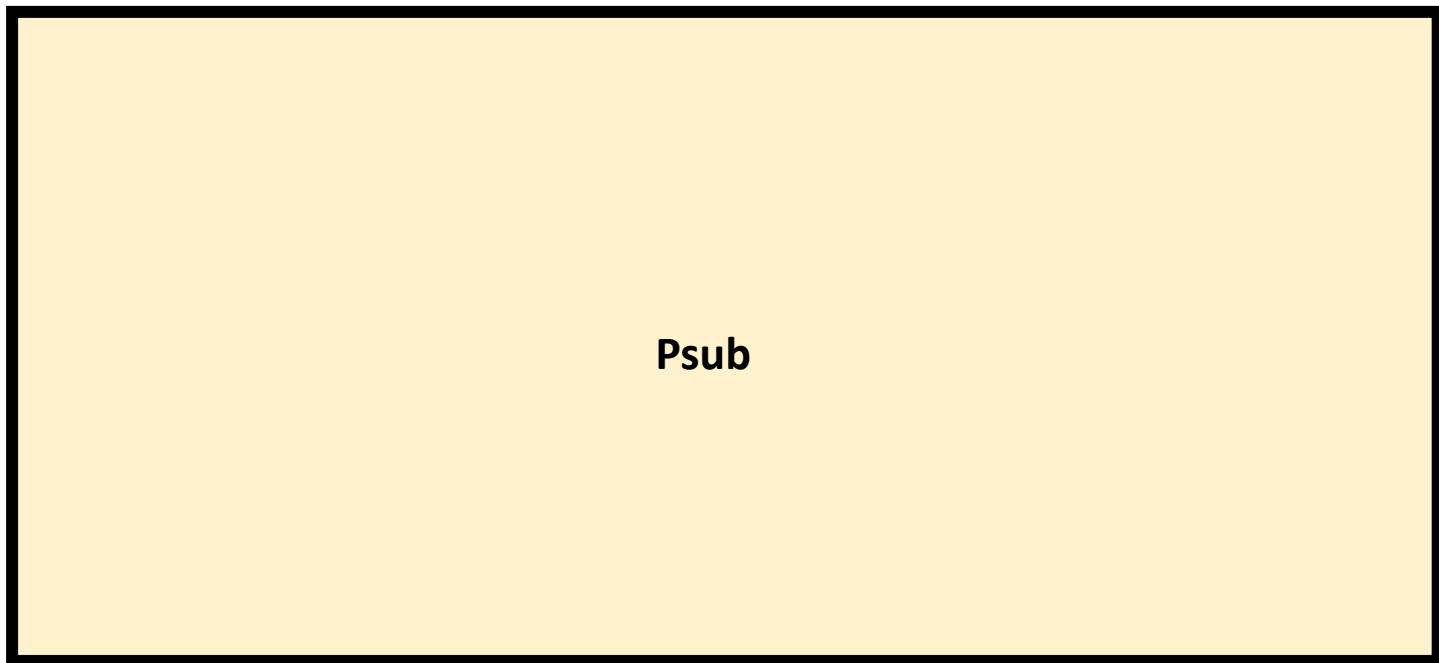
MOSトランジスタとは??

金属と絶縁体とP型とN型の半導体の組み合わせ構造!



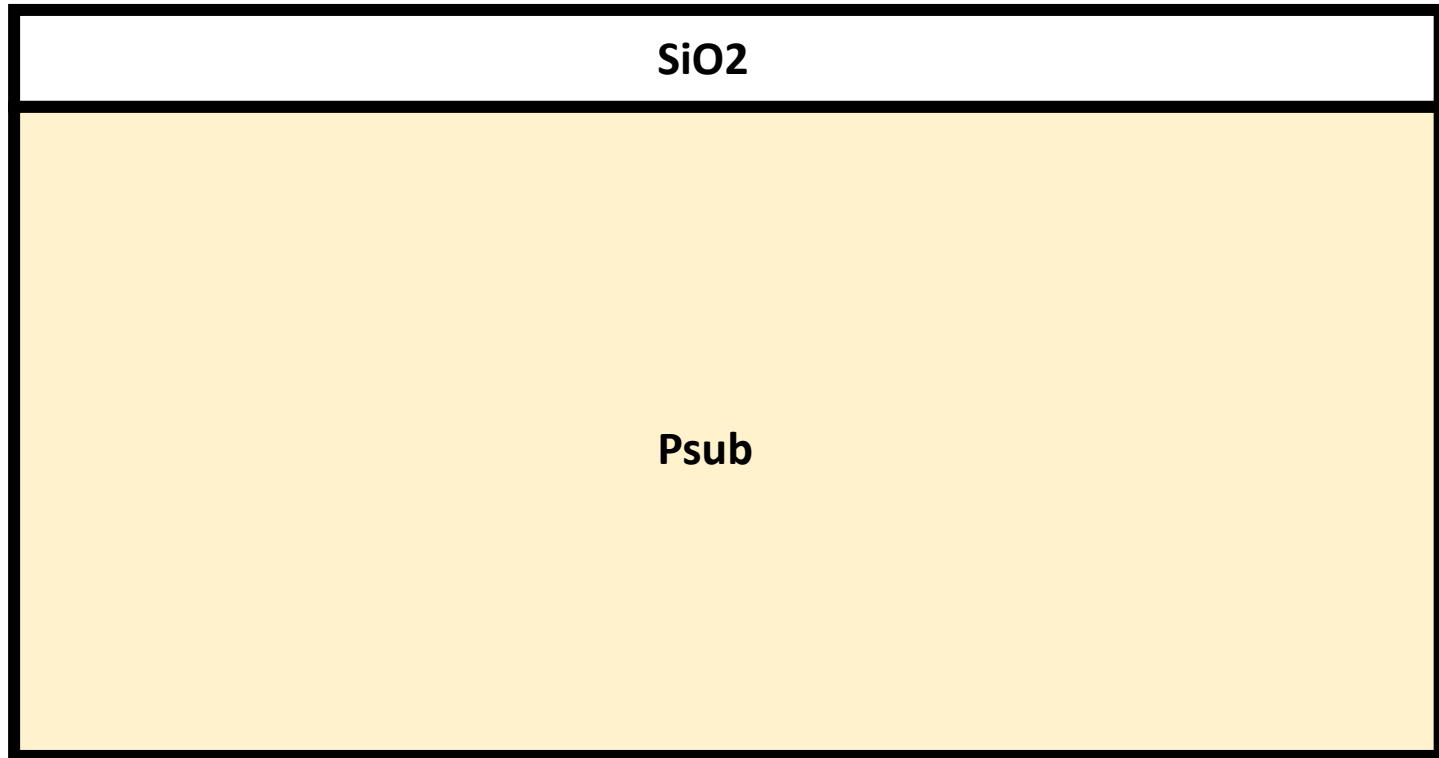
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(1) P型シリコン基板から始める



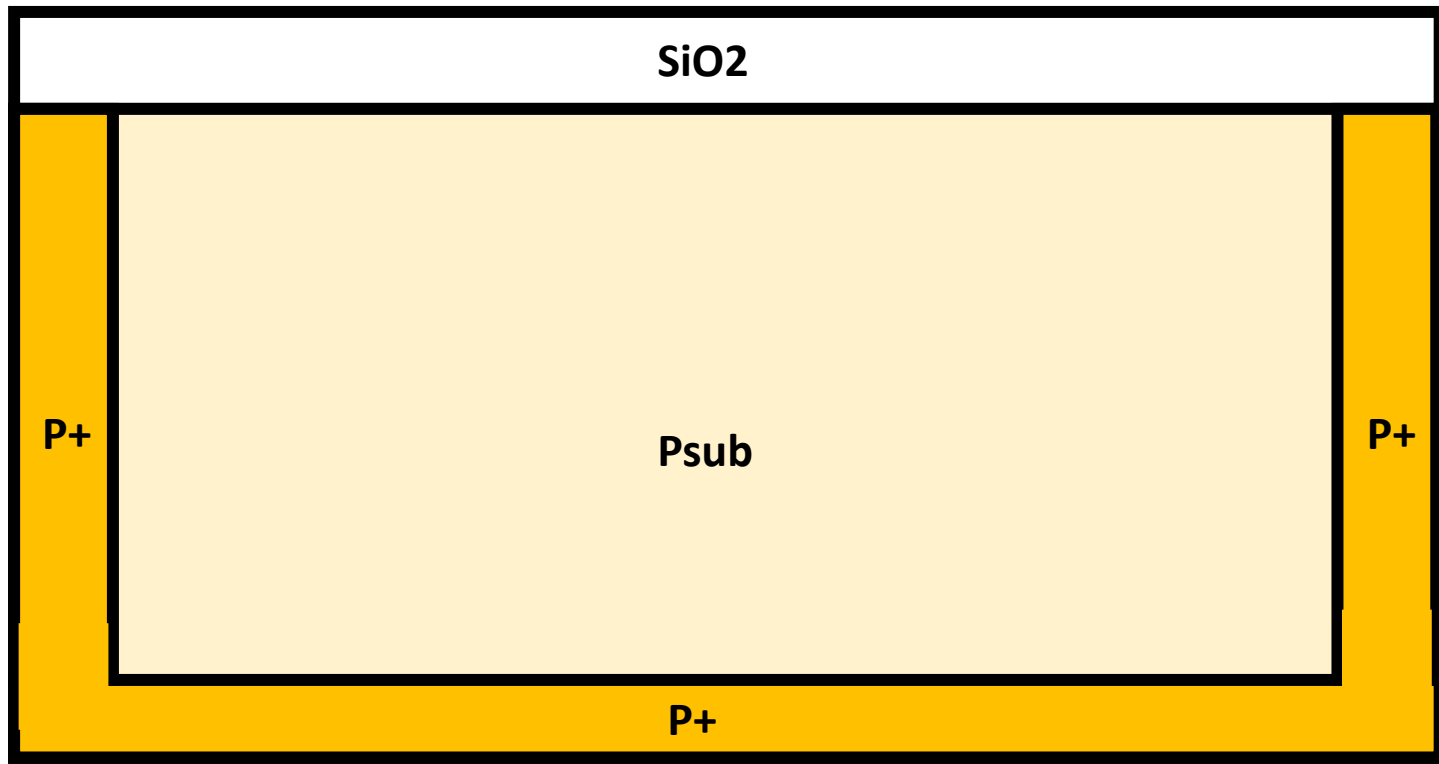
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(2) 表面に酸化膜(SiO_2)を形成する



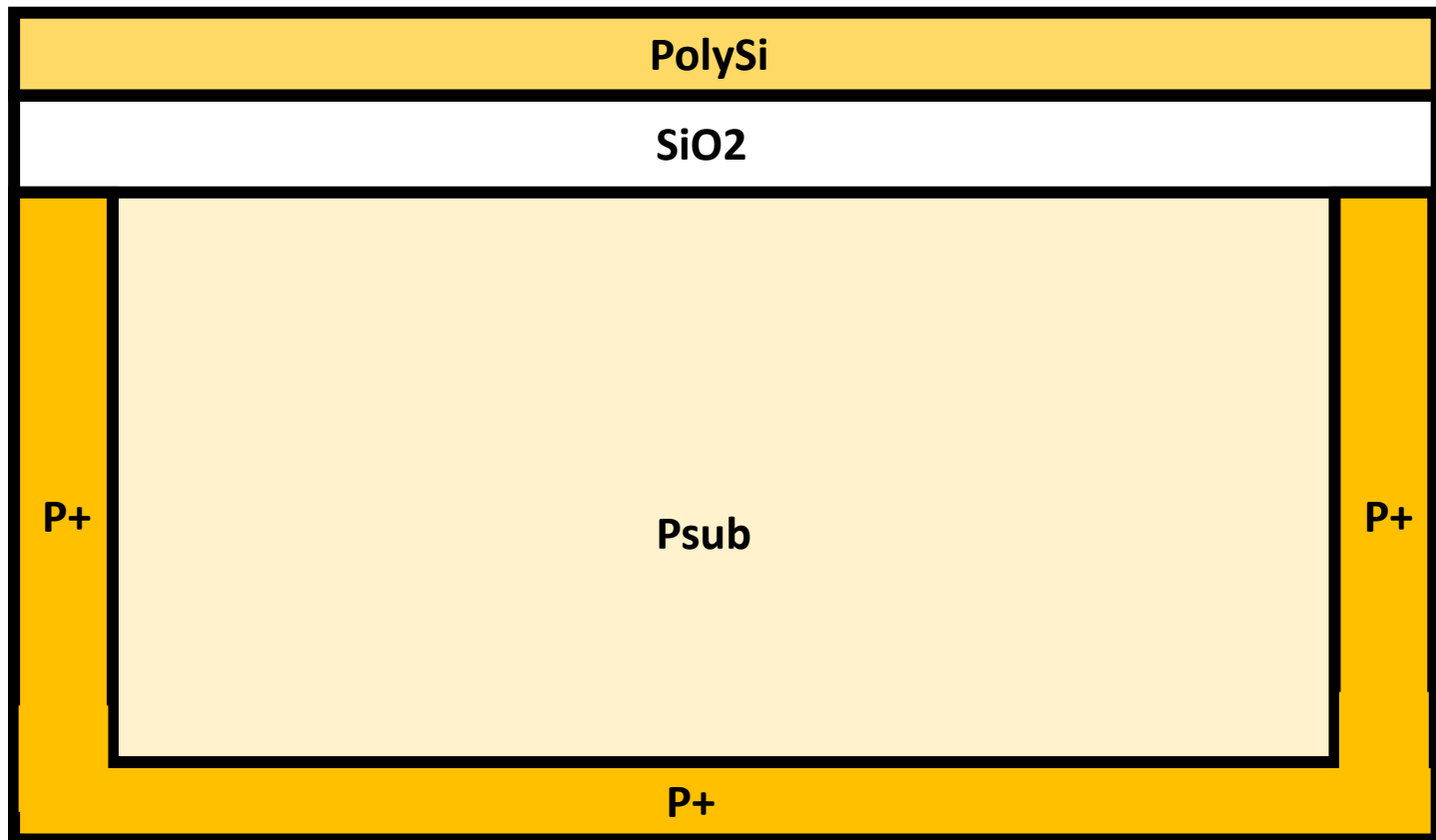
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(3) 高温熱拡散で周辺に高濃度のP+層を形成する。



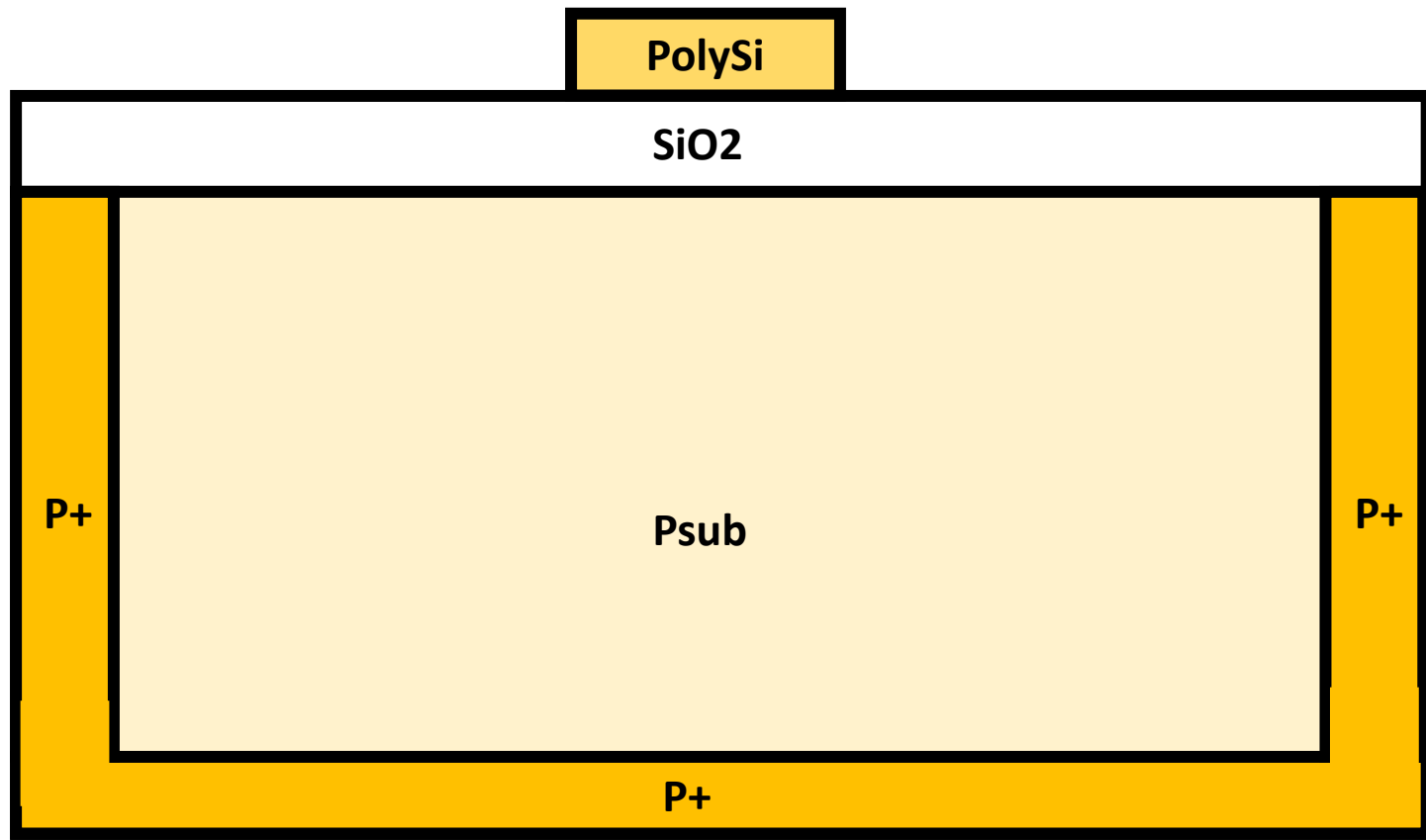
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(4) 表面に高濃度のポリシリコン膜を形成する。



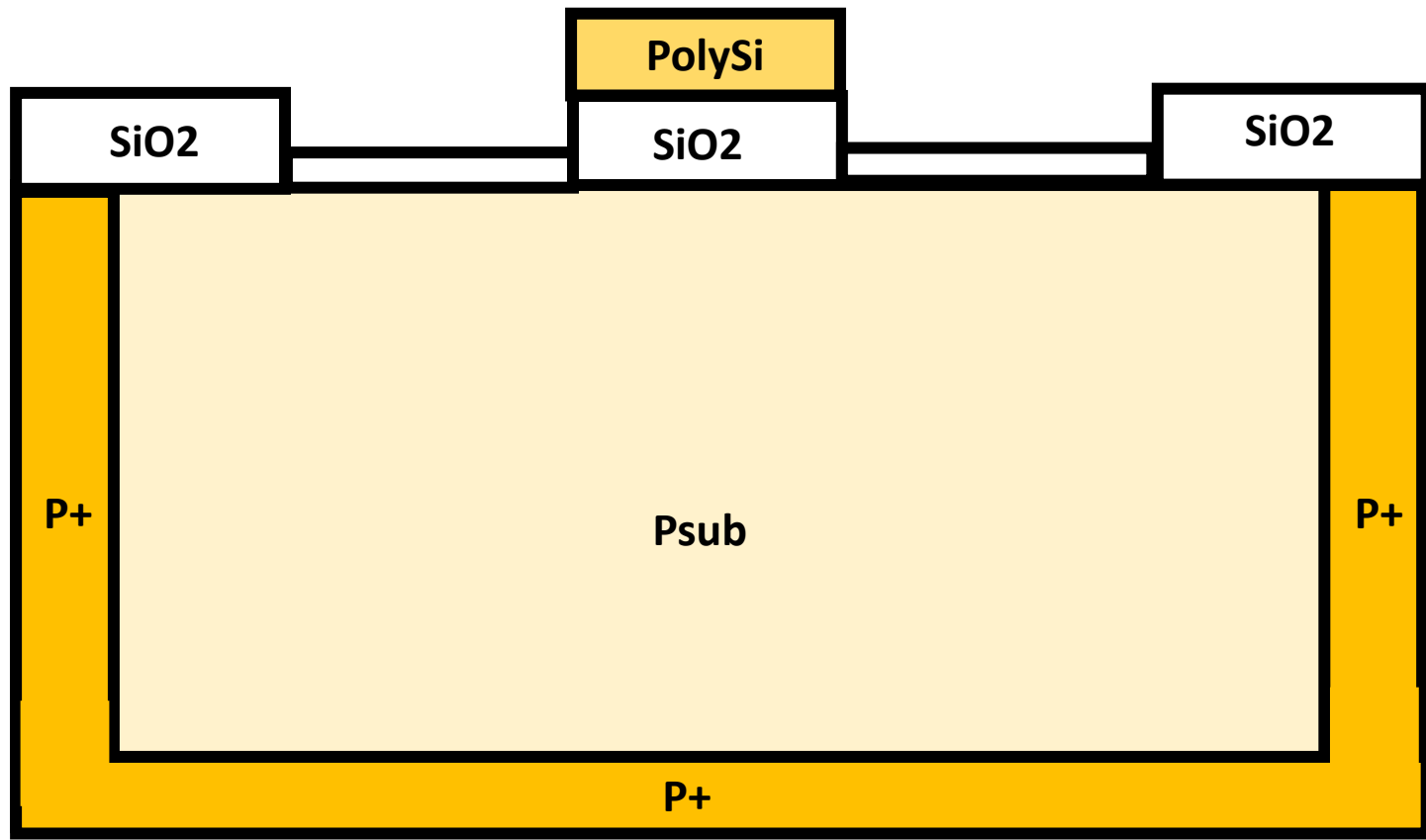
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(5) 表面のポリシリコン膜を加工する



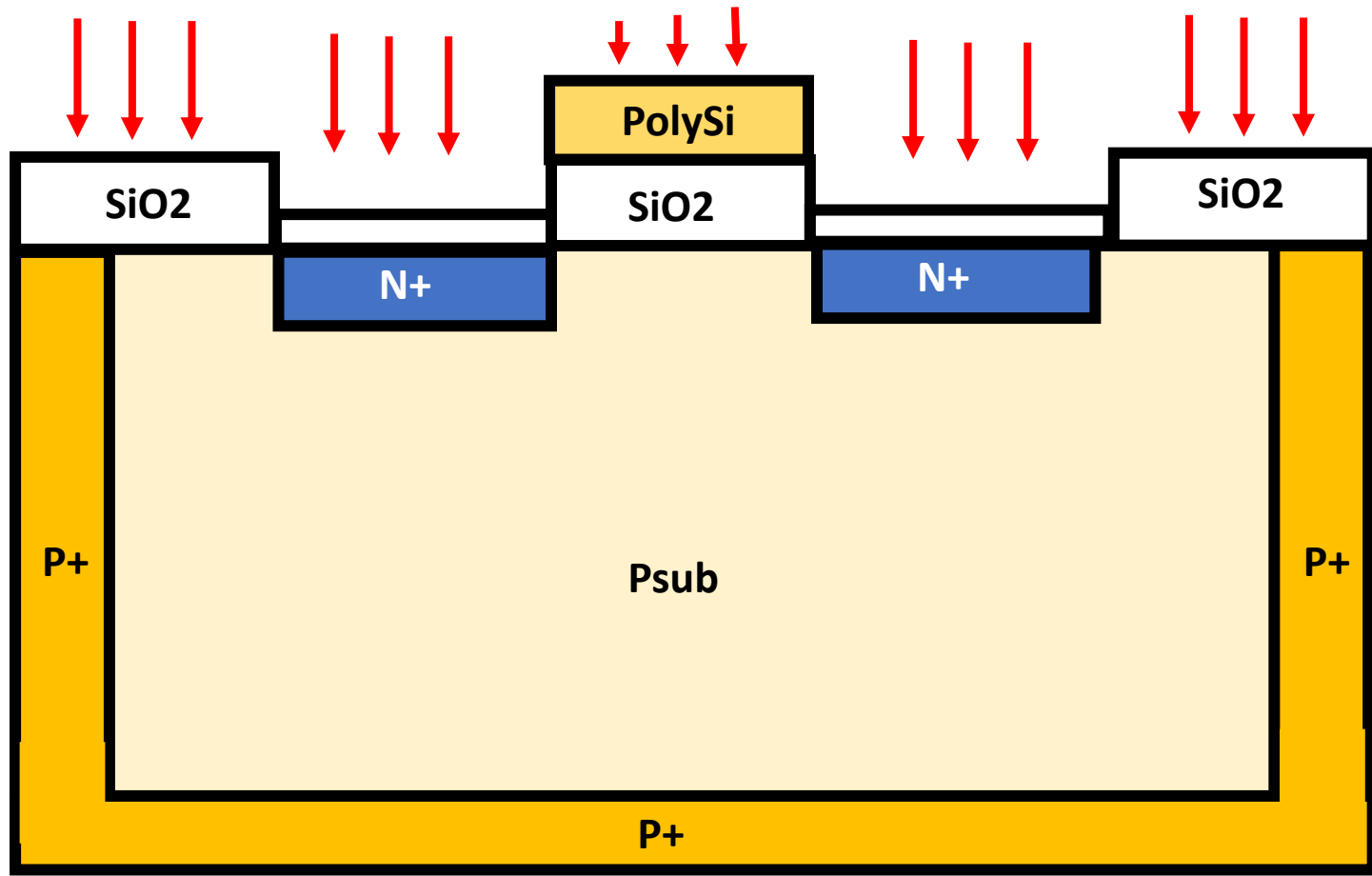
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(6) 表面の酸化膜(SiO_2)を加工する。



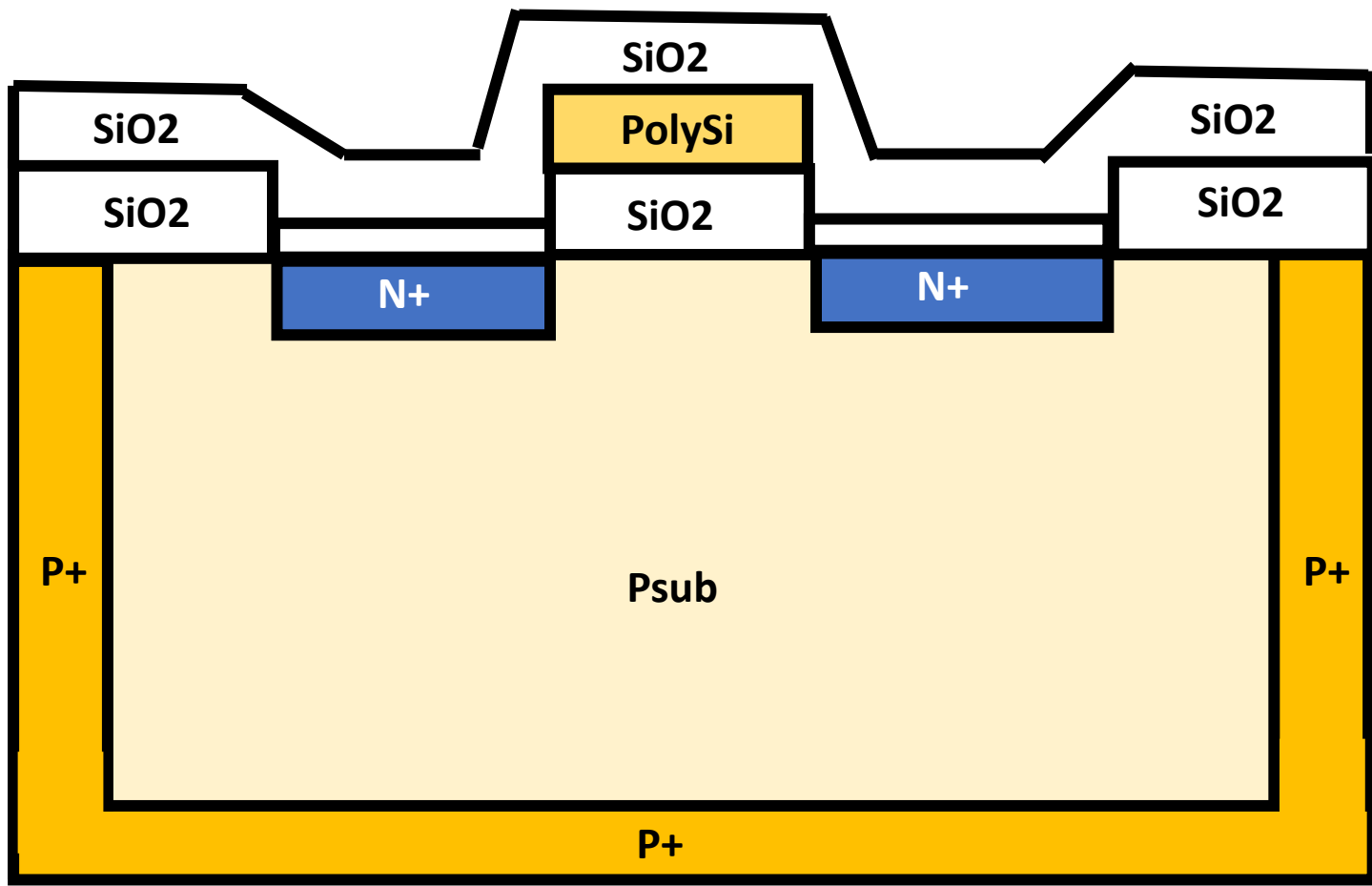
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(7) 表面の薄い酸化膜(SiO_2)の窓に高濃度のN型不純物原子をイオン打ち込み装置でシリコン表面に打ち込み形成する。



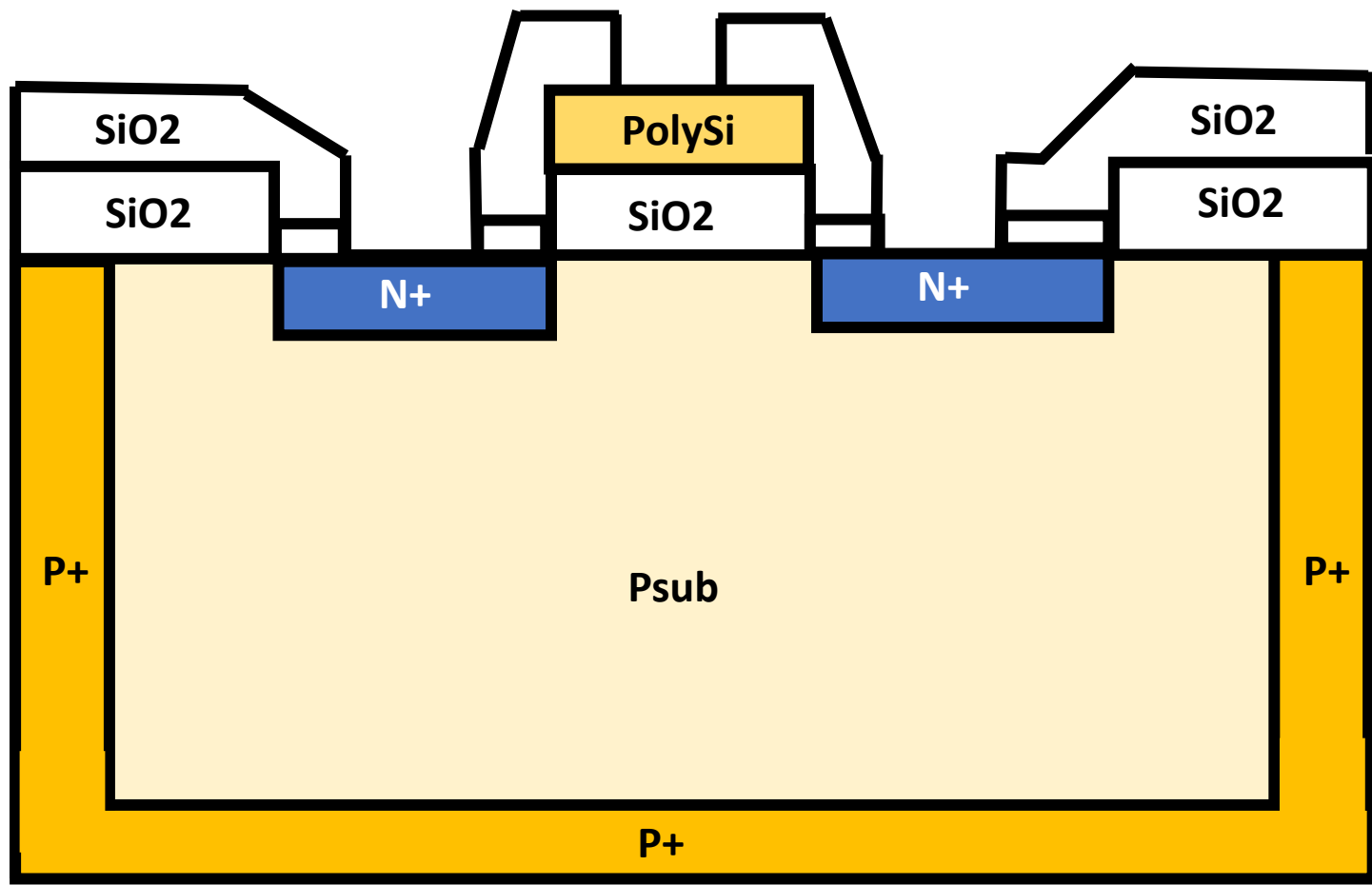
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(8) 表面に保護用酸化膜(SiO_2)を形成する。



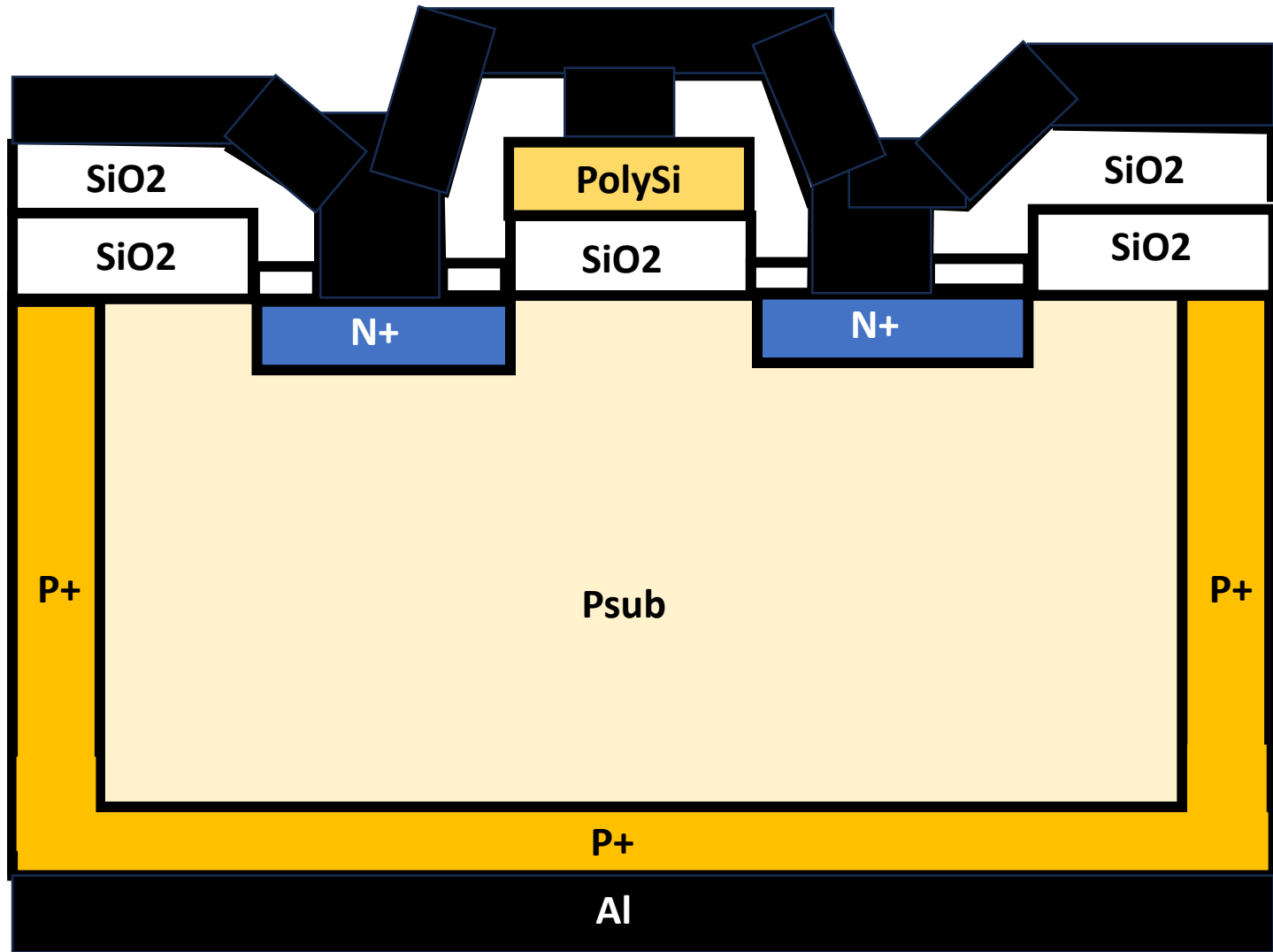
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(9) 金属配線用に酸化膜(SiO_2)に窓開けをする。



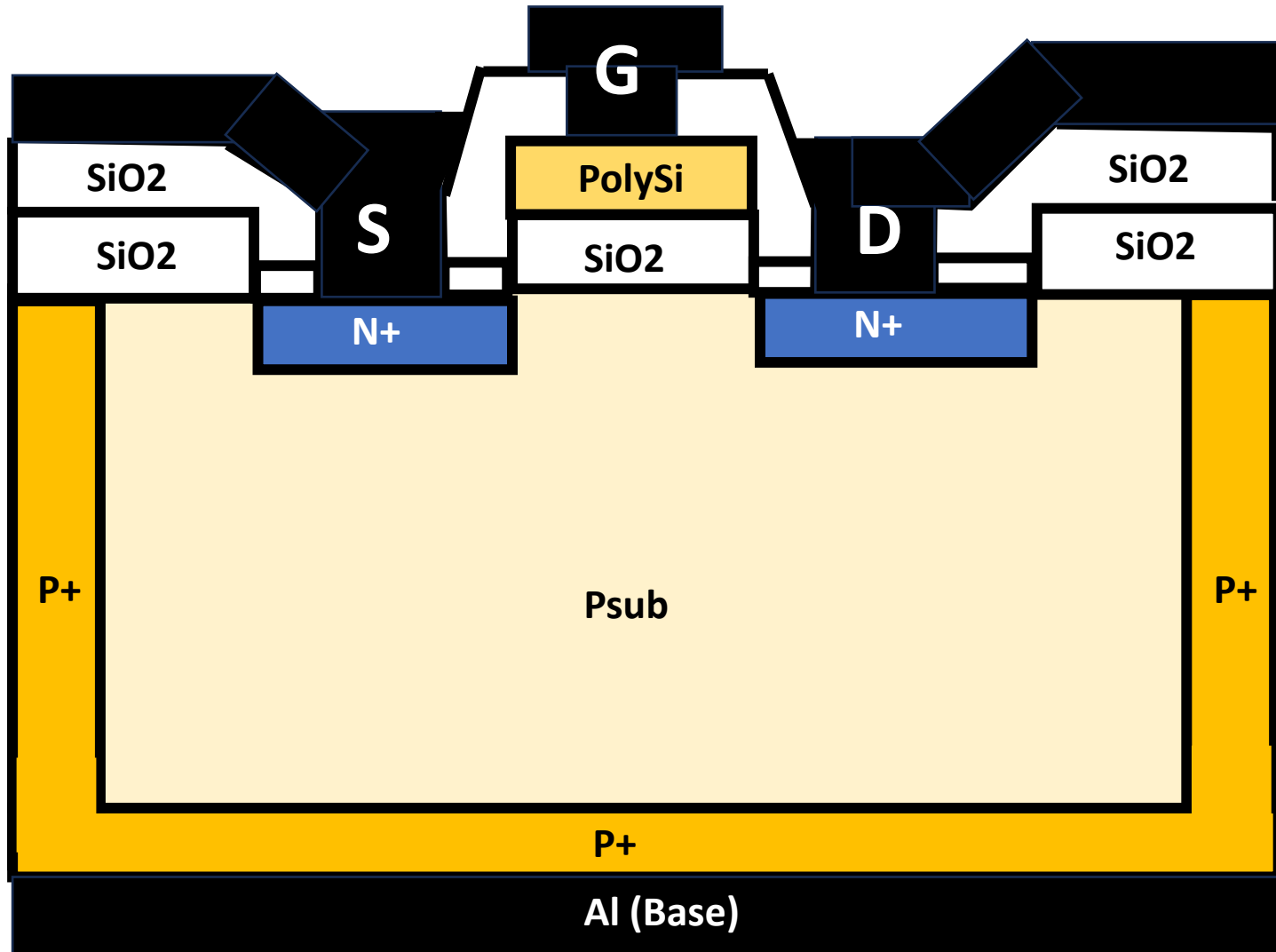
自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

(10) アルミ金属膜を蒸着する。



自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

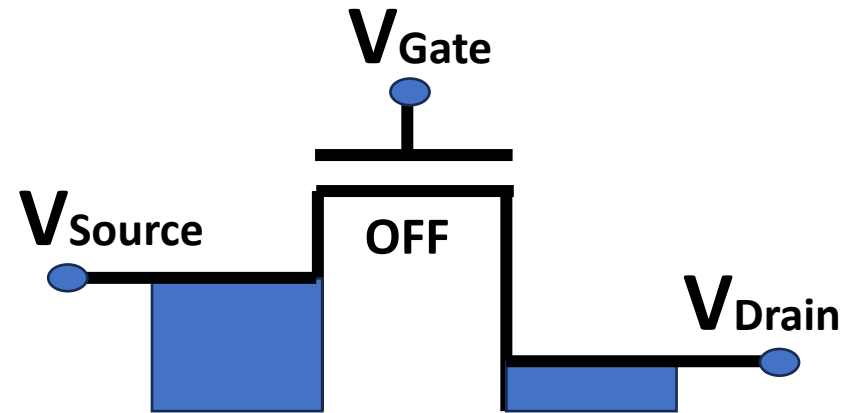
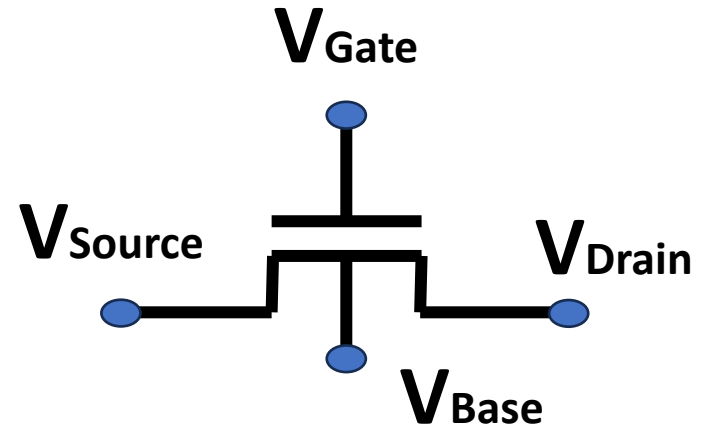
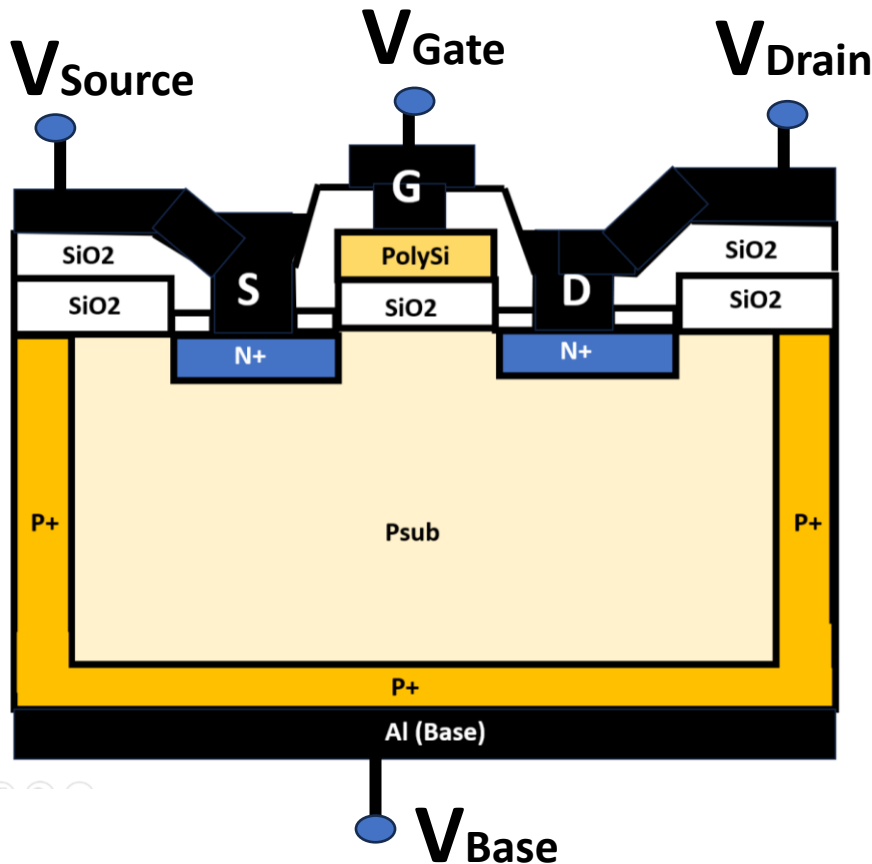
(11) アルミ金属膜を加工する。



自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

MOSトランジスタとは??

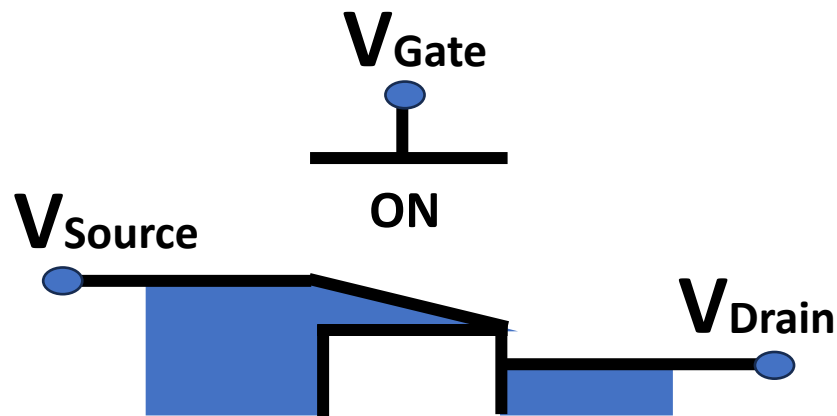
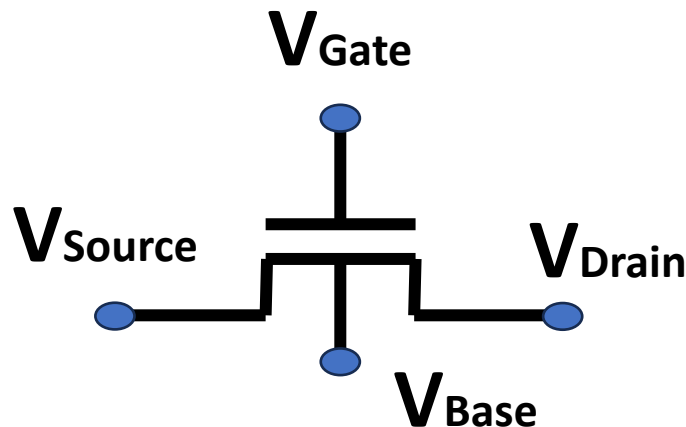
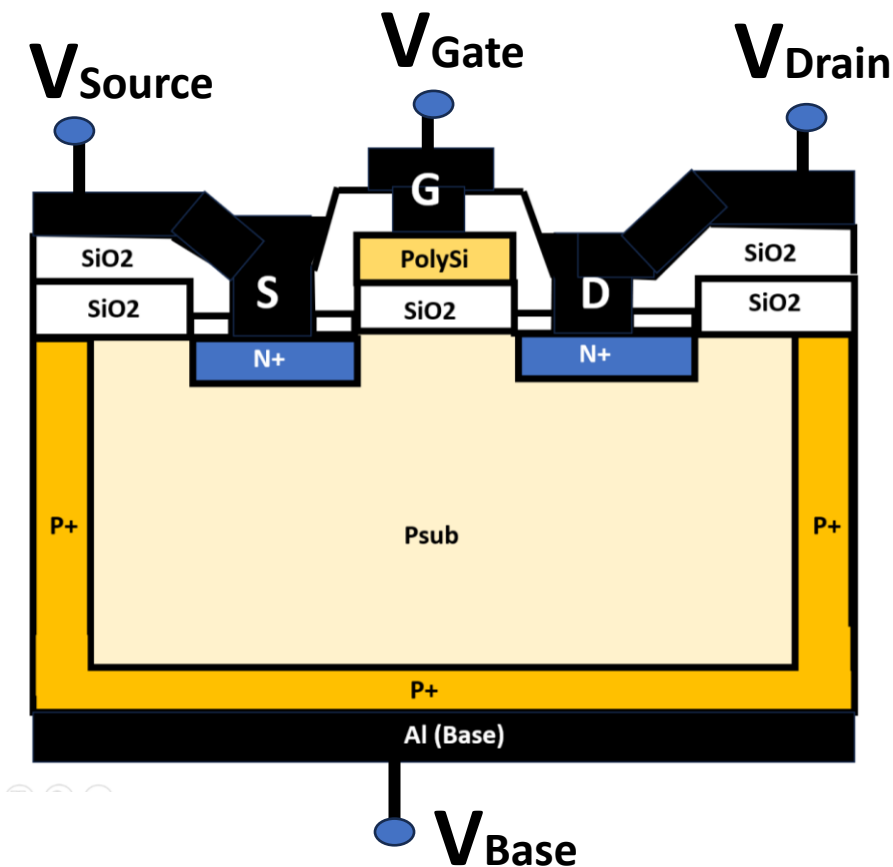
金属と絶縁体とP型とN型の半導体の組み合わせ構造!



自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

MOSトランジスタとは??

金属と絶縁体とP型とN型の半導体の組み合わせ構造!

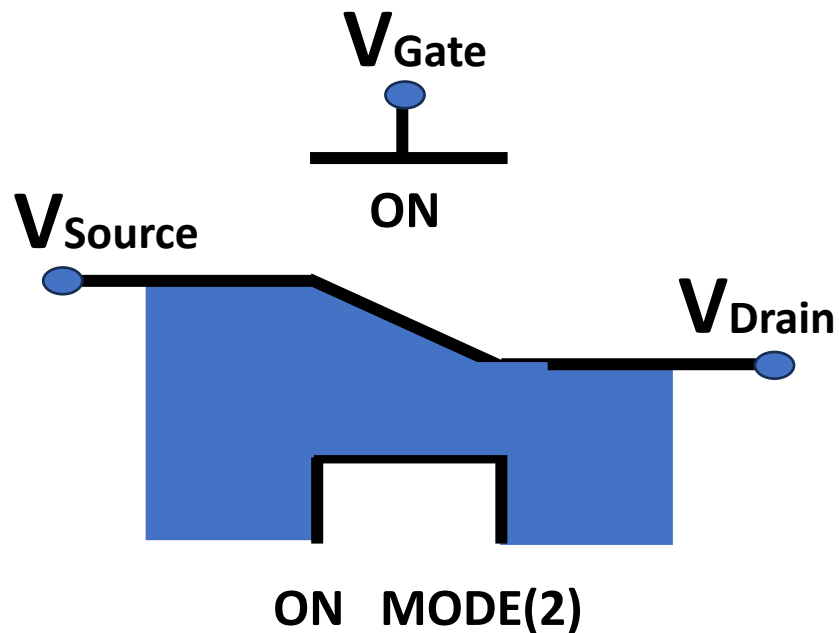
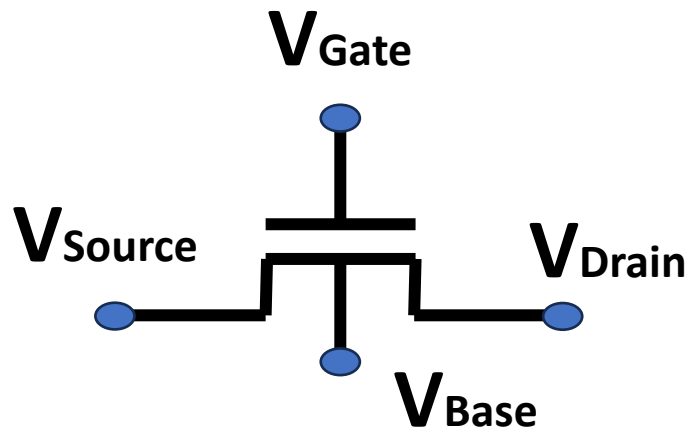
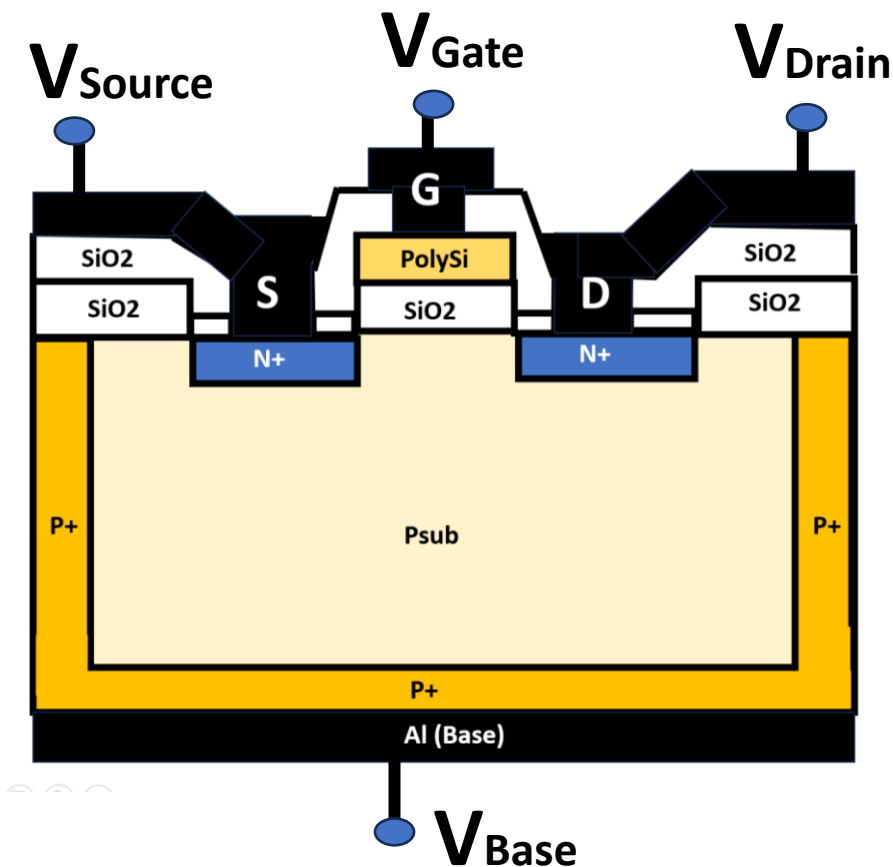


ON MODE(1)

自己整合型ポリシリコン電極型MOSトランジスタの製法

MOSトランジスタとは??

金属と絶縁体とP型とN型の半導体の組み合わせ構造!



A1) あたたかい白米ごはんは Intrinsic Silicon 結晶体

A2) お赤飯（赤豆を混ぜたほっかほっかごはん）は、P型 Silicon 結晶体

A3) 豆ごはん（青豆を混ぜたほっかほっかごはん）は、N型 Silicon 結晶体

B1) 日本にはトクホン、貼り薬、シップがありますが、これは熱拡散法。

じゅわじゅわと、薬を皮膚にしみ込ませる伝統ある医学の知恵です。

昔は熱拡散で、Diode や Transistor や Thyristor を製造していました。

B2) 1970年になり INTEL 社は、「じゅうたん爆撃法」を採用し、

爆弾にして、高エネルギー分子（赤豆や青豆）を地上（シリコン基板）に

野蛮にも打ち込み、自己整合型 MOS 型 Transistor の製造方法を開発し

世界ではじめて商品化に成功し、大きく成長しました。

B3) 破壊された結晶構造を熱拡散でもとに戻していました。

- C1) 一方の SONY (萩原) は、1975年、従来の DIODE 構造ではなく、Transistor や Thyristor 構造を光感知センサーとして使う事を提案しました。その製法に、高エネルギー分子 (赤豆や青豆) を地上 (シリコン基板) に野蛮にも打ち込み方法を採用し、自己整合型の受光素子構造の製法を考案し、1977年と1978年にその原理試作開発に成功し学会で発表しました。
- C2) その時、破壊された結晶構造を熱拡散法ではなく赤外線瞬間アニール法を SONY (西山和夫) は考案し、それが SONY の HAD SENSOR の製造方法に採用され、SONY (石川) は超光感度の受光素子を開発製造に1987年に成功し SONY の超光感度のビデオカメラは世界の市場を制覇しました。
- D1) 現在萩原は、この超光感度半導体受光素子をビデオカメラ用だけでなく超光感度の、高い変換効率を持つことが既に知られている、ダブル接合、および、多重接合型太陽電池に応用することに挑戦しています。
- D2) 半導体産業の発展は、この高エネルギーイオン打ち込み装置に高性能化と低エネルギー赤外線アニール法や高エネルギーのレーザーアニール法の高性能化と実用化製造技術が要になります。