

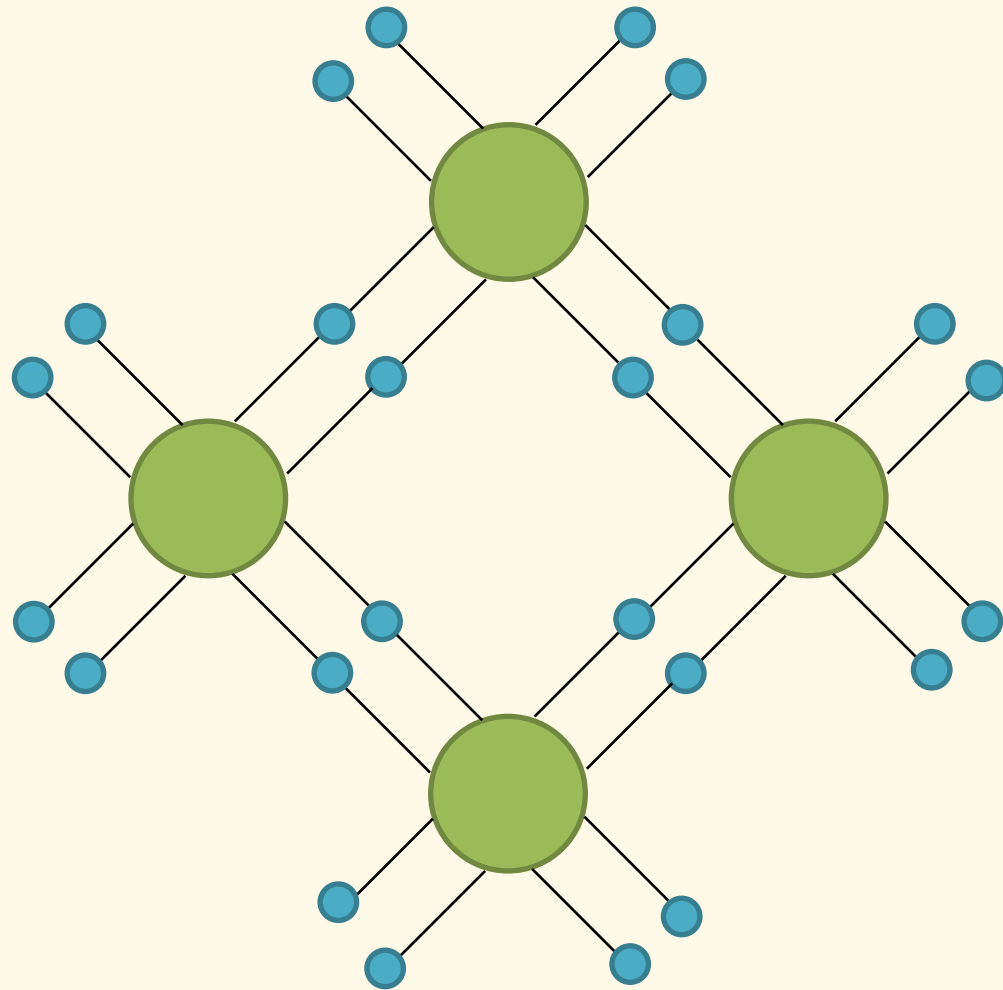
# 電子工学08

津山工業高等専門学校 情報工学科 講師  
電気通信大学 先進理工学科 協力研究員  
藤田一寿

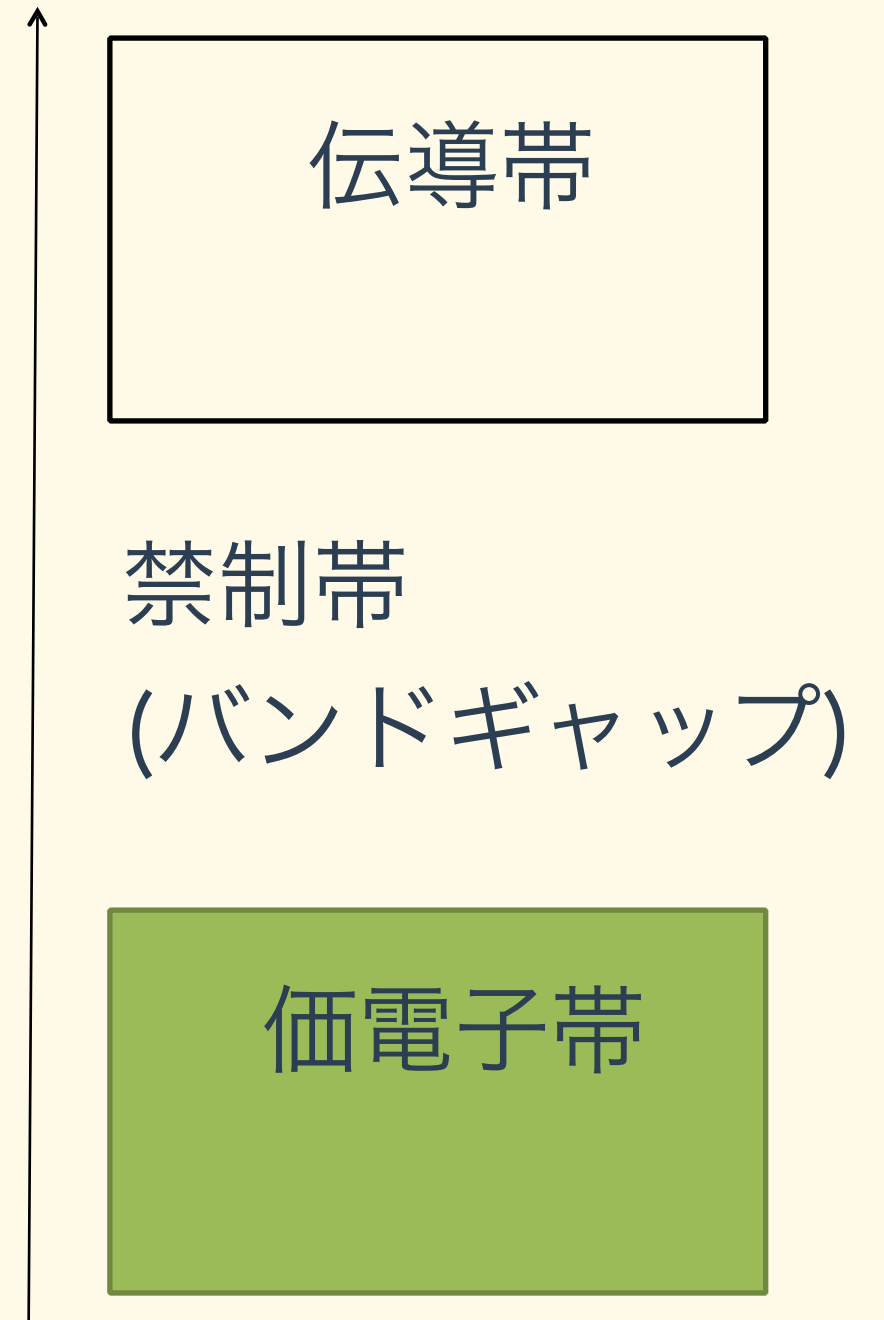
# 真性半導体

- ▶ 不純物や結晶格子の欠陥が全くない単結晶半導体
- ▶ Siの場合半導体用途で11N(純度99.9999999999%イレブンナイン)で製造される。

# 絶対零度するとき

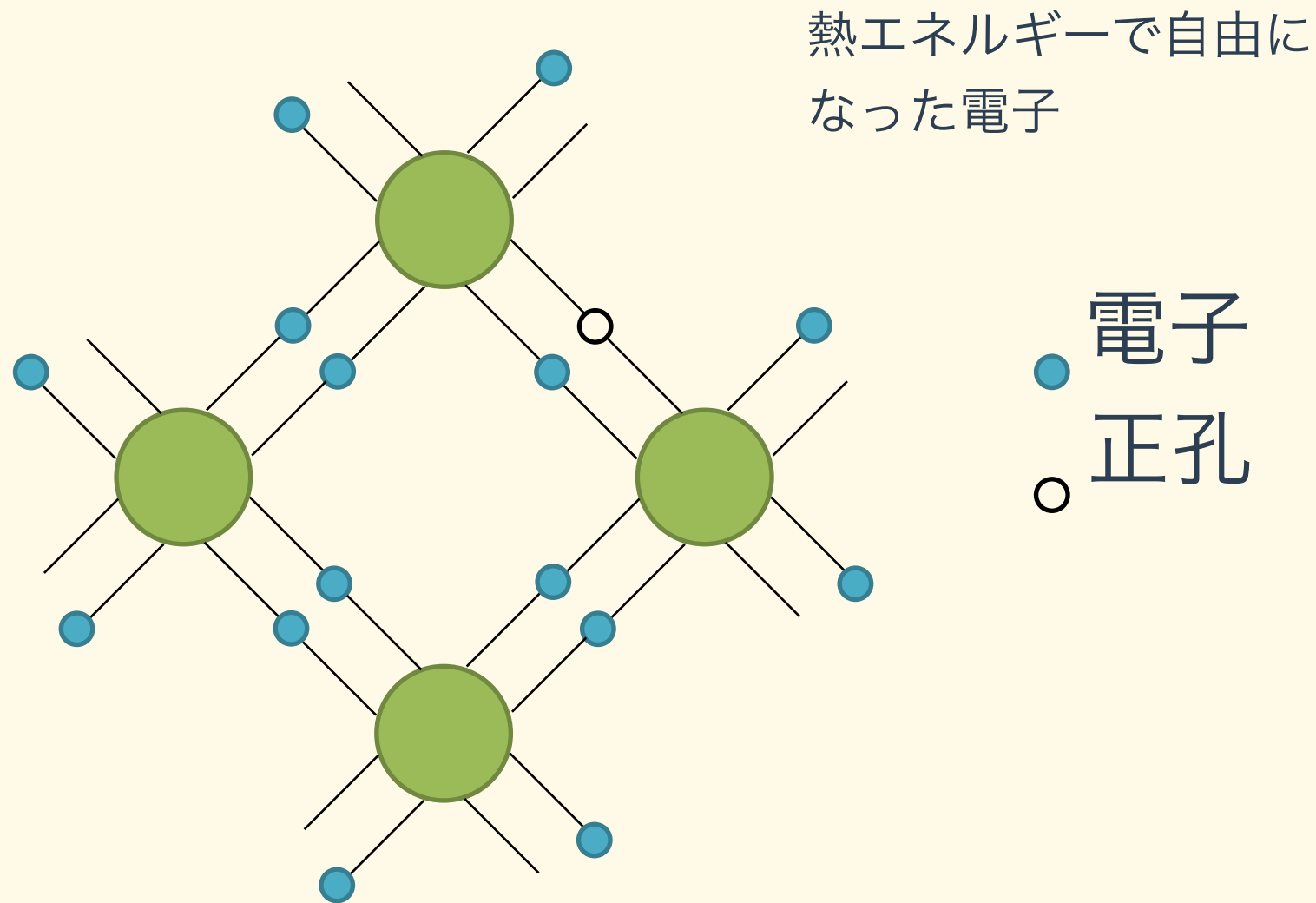


電子はすべて結合に寄与する

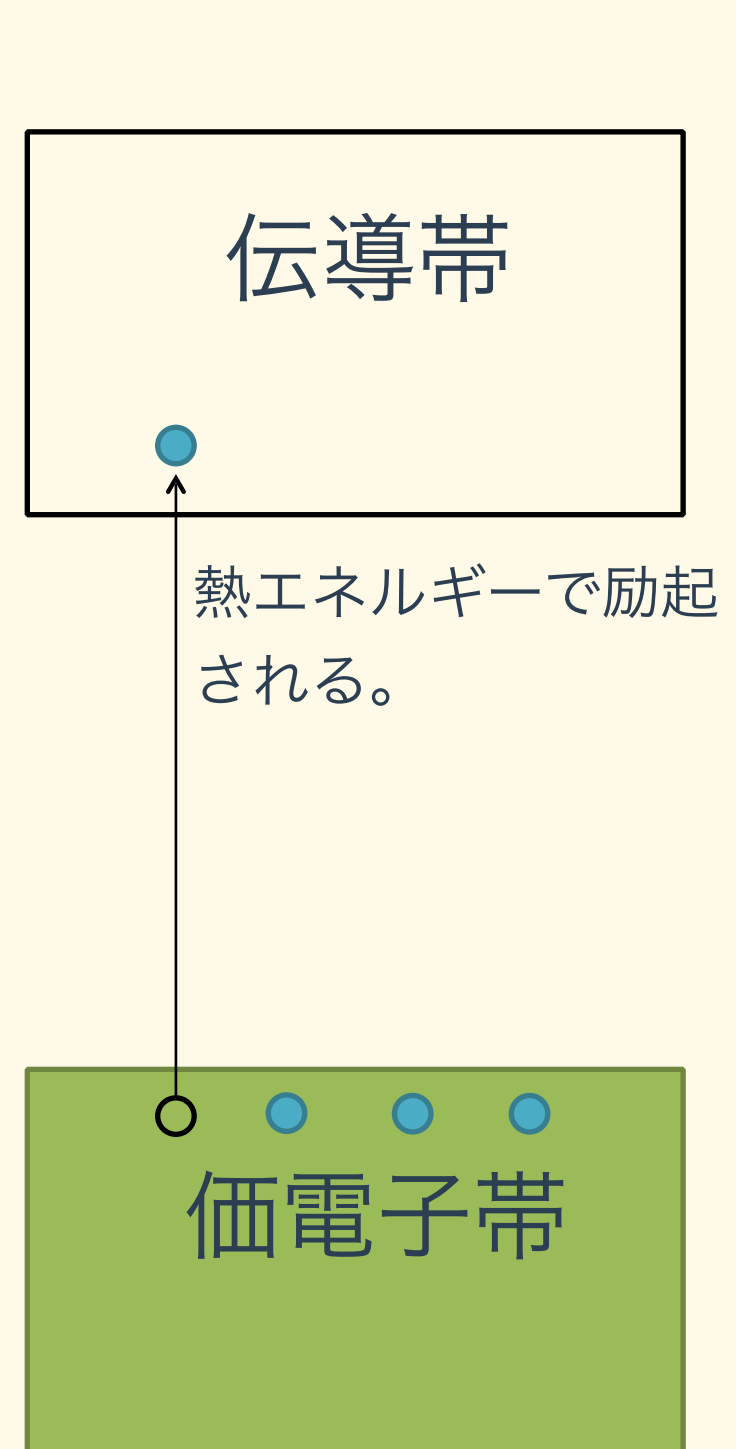


伝導帯に電子はなく  
電気は流れにくい

# $T > 0$ の場合



熱エネルギーで一部の電子が自由になる。電子がもともと板場所には+の電気的性質を持ったあな（孔）があく。これを正孔と呼ぶ。

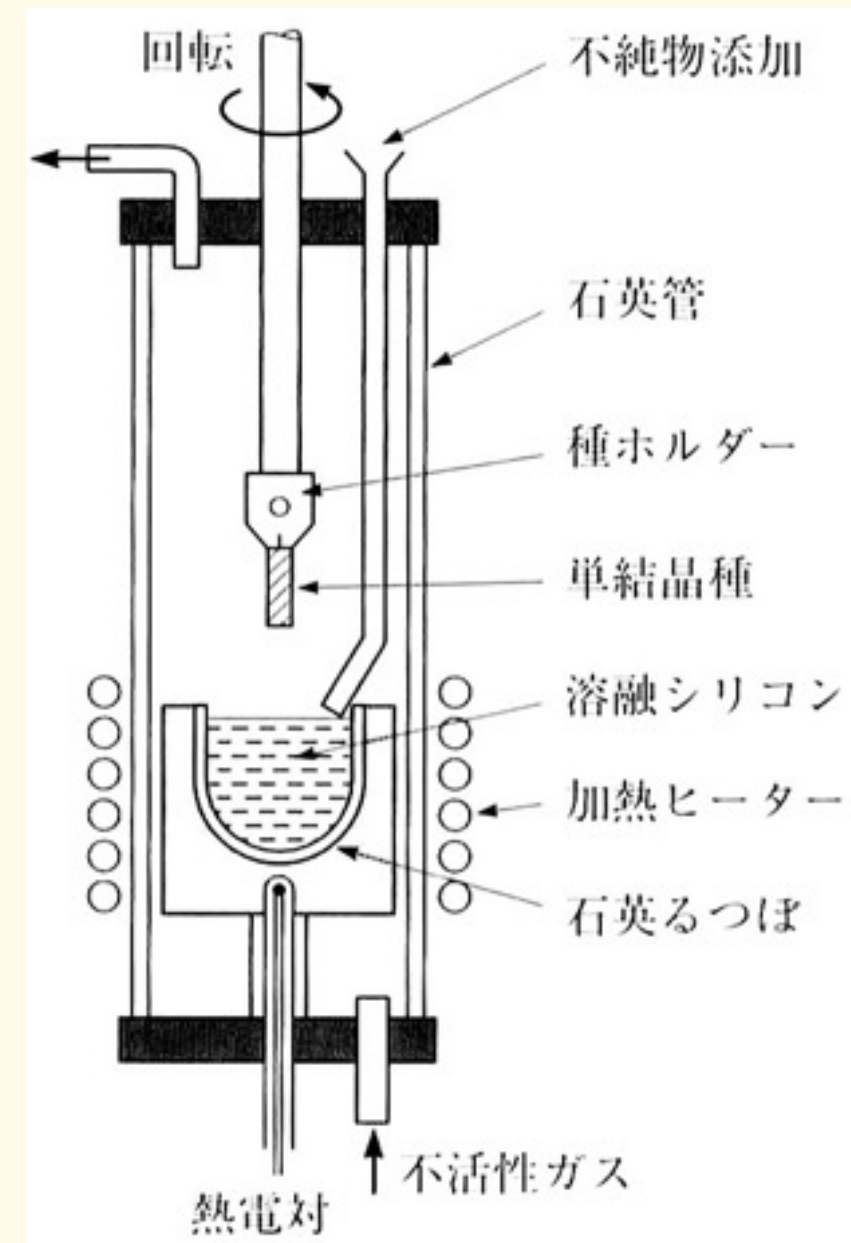


# 真性半導体

- ▶ 熱エネルギーにより自由になった電子は、価電子帯から伝導帯に励起されている。
- ▶ 電子が抜けた場所は、 $+$ の電氣的性質を持つ正孔(ホール)ができる。
- ▶ 伝導帯にいる電子は電気を流す役割をする。
  - ▶ 電気を流す役割をするものをキャリアと呼ぶ
- ▶ 真性半導体の場合、電子と対となり正孔が電気を流す役割をするので、電子と正孔がキャリアとなる。

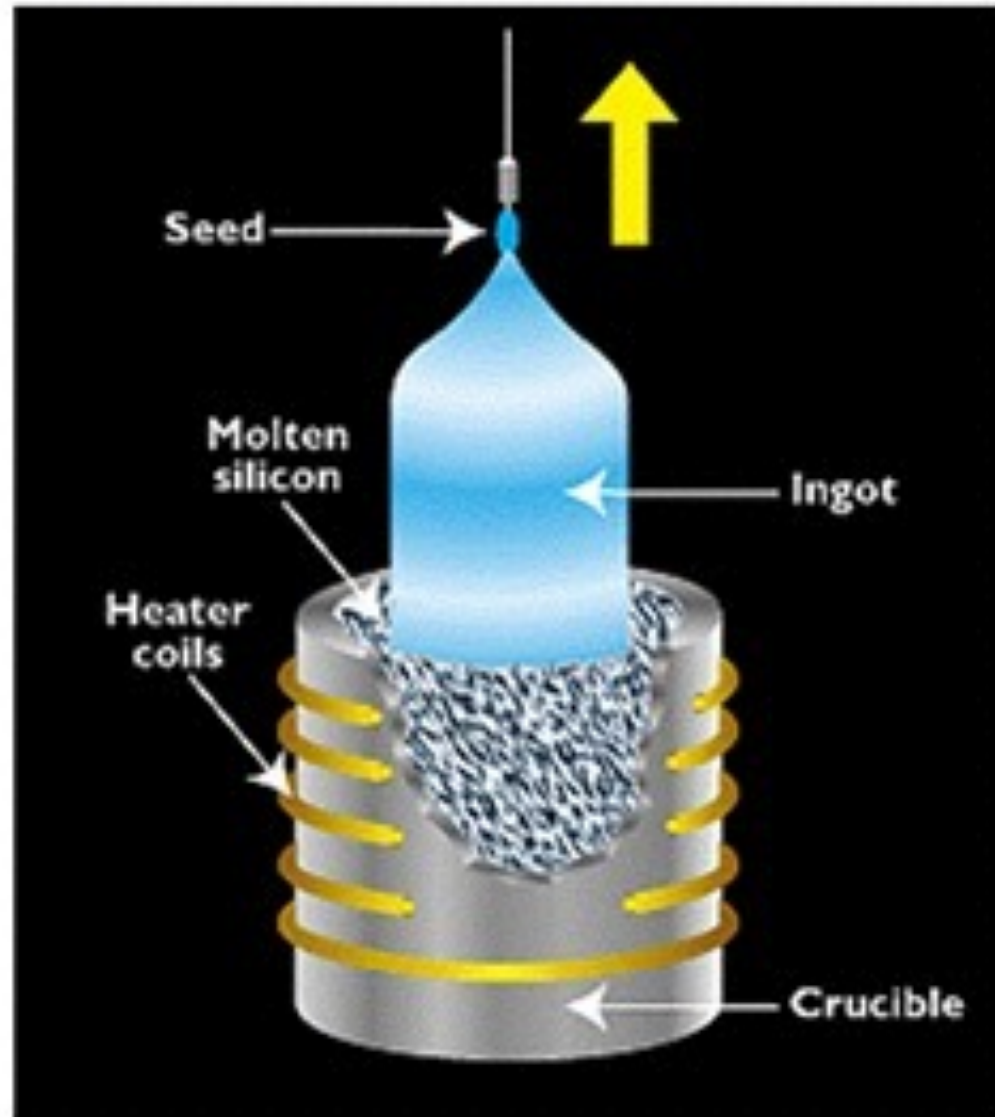
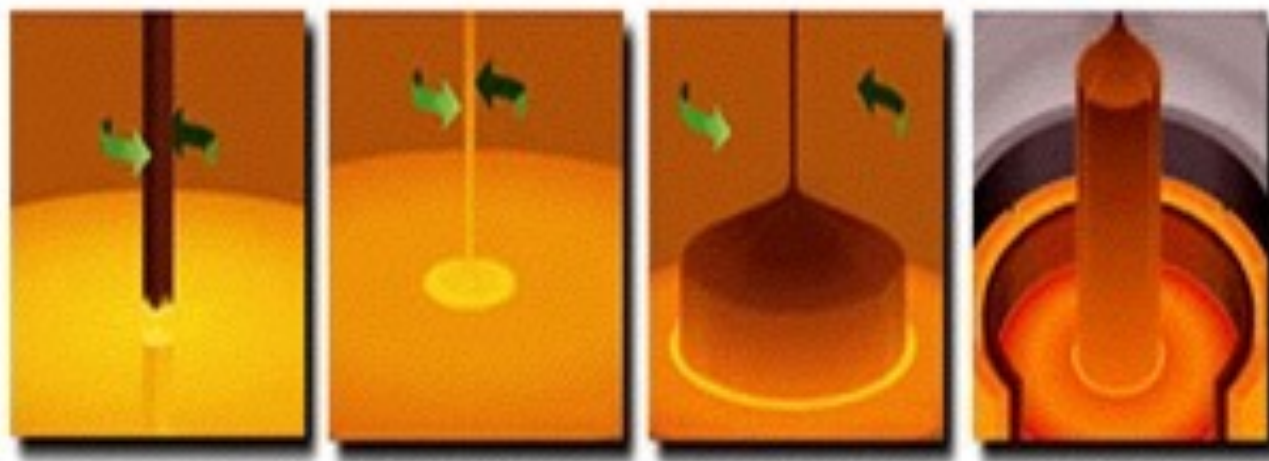
# 製造方法

- ▶ チョクラルスキー法（引き上げ法）
- ▶ るつぼの中にシリコン原材料を入れ加熱溶融する。
- ▶ 上から種結晶を下ろし、その先端を液状態のシリコンにつける。
- ▶ 種結晶を回転させ引き上げる。  
(毎分1mm、10回転)



(豊田, 半導体の科学とその応用)





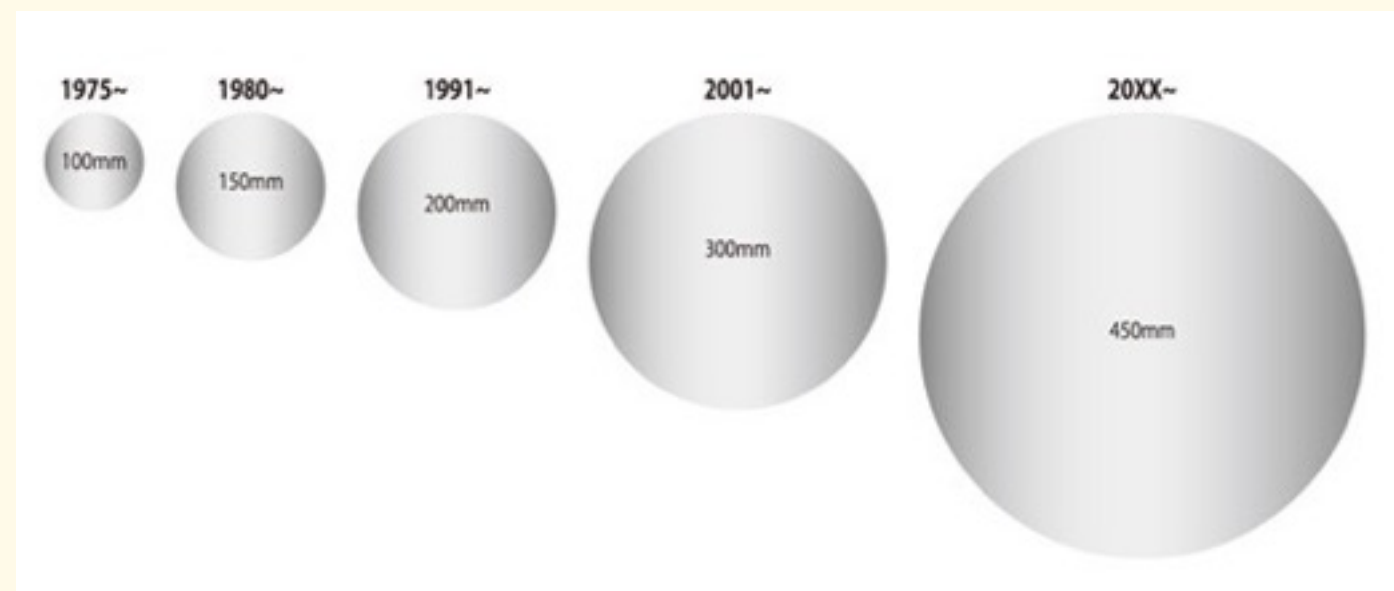
(<http://cnfolio.com/>)





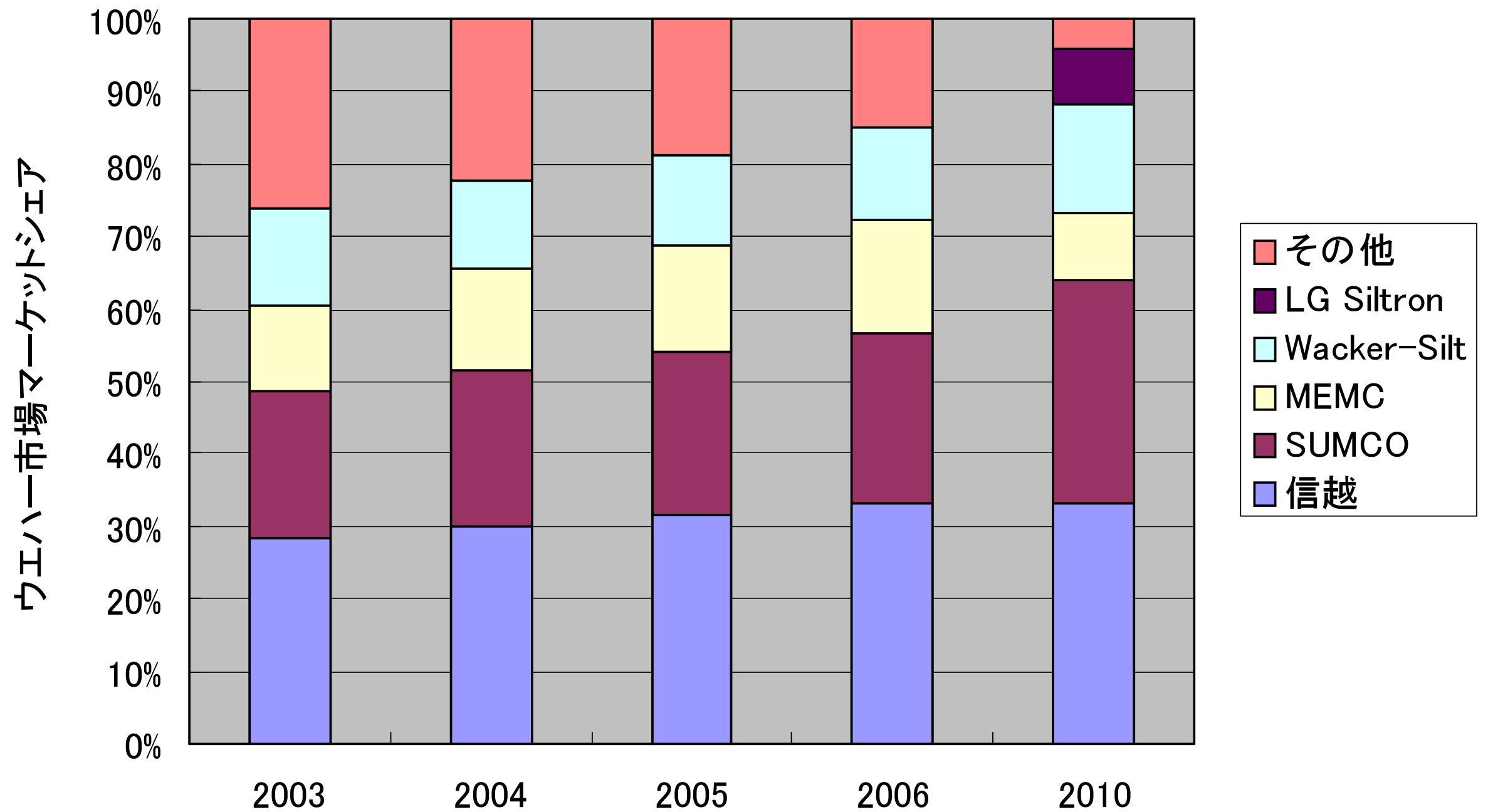


# シリコンウェハのサイズ



(SUMCO)

# シリコンウェーハのシェア



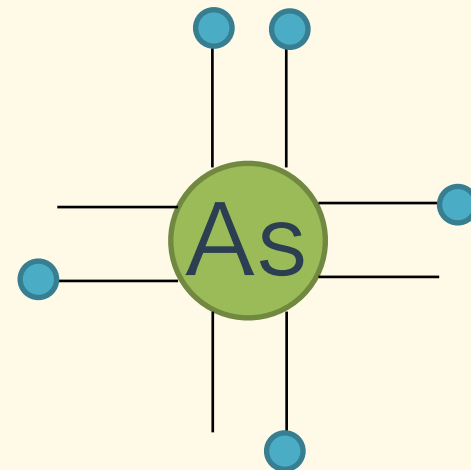
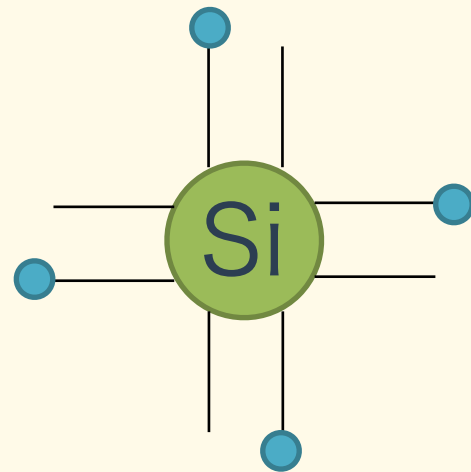
(国際半導体製造装置材料協会)

# 不純物半導体

- ▶ 真性半導体に微量の不純物を入れ（ドーブ）キャリアを作ることができる（ドーピング）。このようにして作った半導体を不純物半導体（外因性半導体）という。

# n型半導体

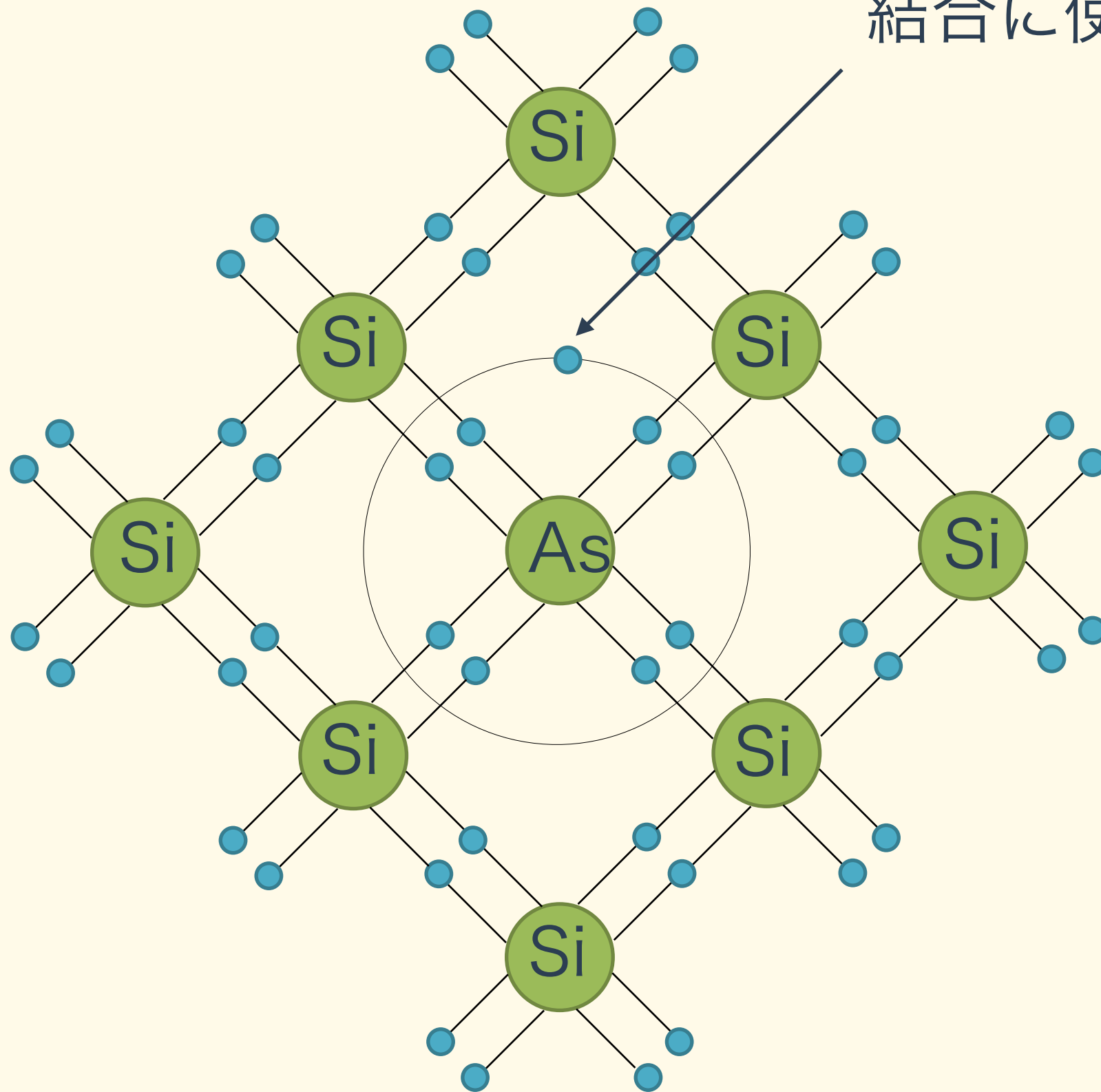
- ▶ 真性半導体に5価の不純物（最外殻電子が5個）をドープする。
- ▶ 不純物をドナー不純物という。



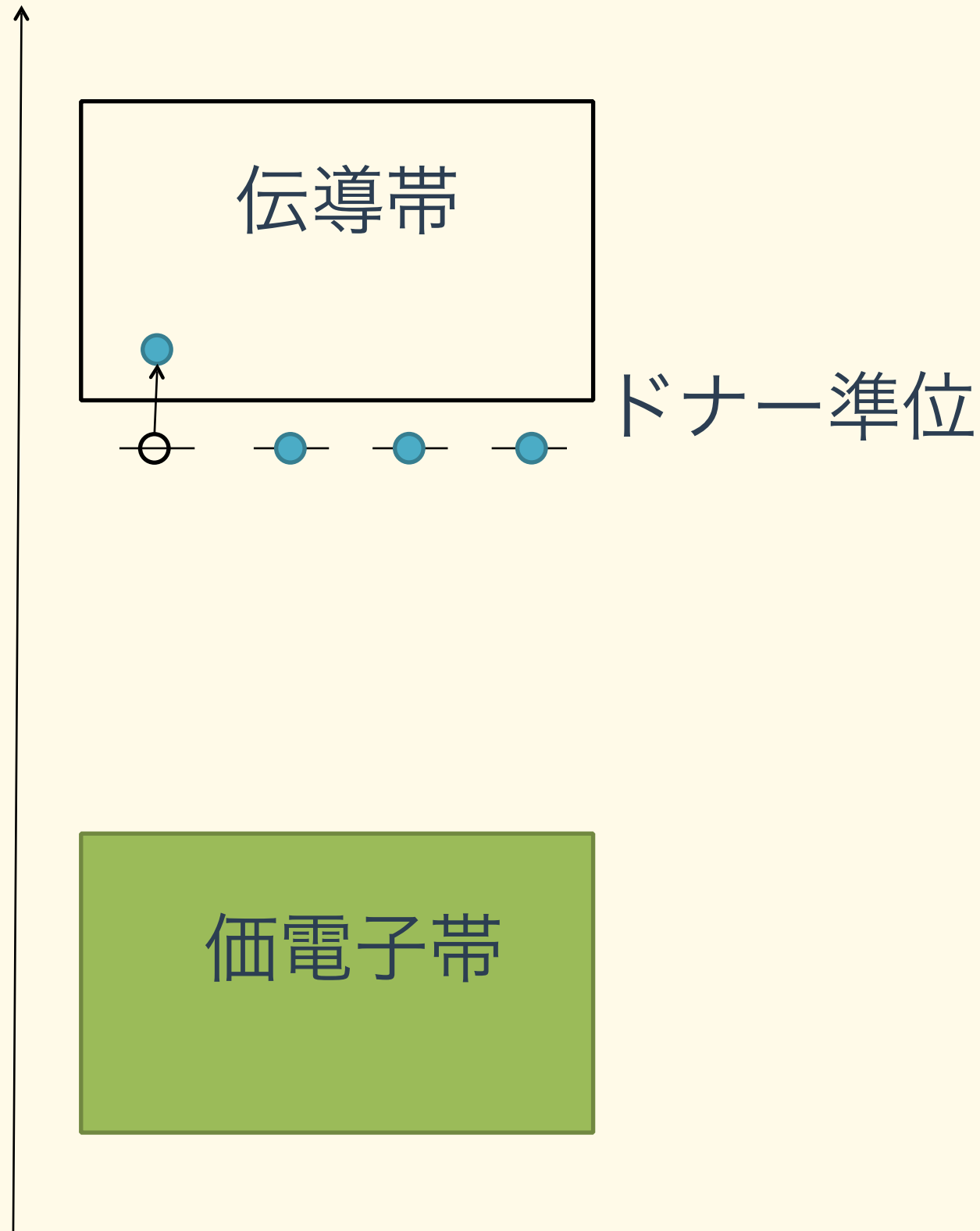
シリコンは最外殻電子が4つ      ヒ素は最外殻電子が5つ



結合に使われない電子



結合には4つの電子があれば良いので、電子はひとつ余る。結合に使われない余った電子がキャリアとなる。

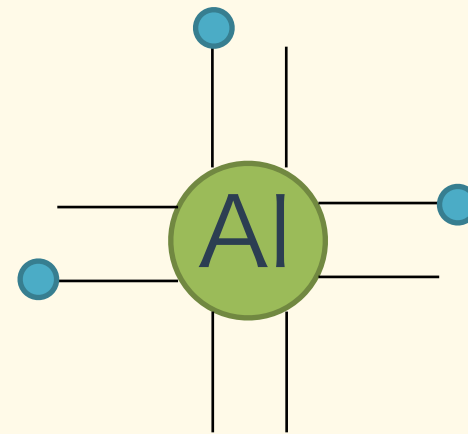
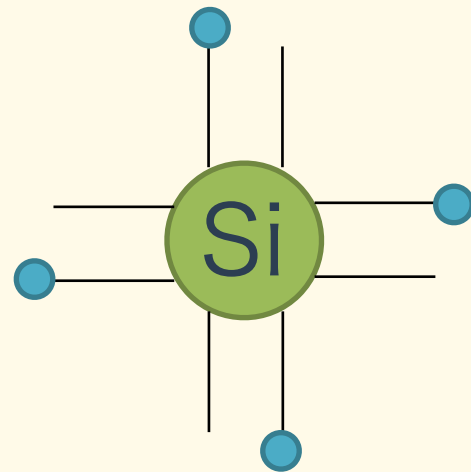


結合に使われな  
い余った電子は、  
ドナー準位とよ  
ばれるエネルギー  
準位を形成する。

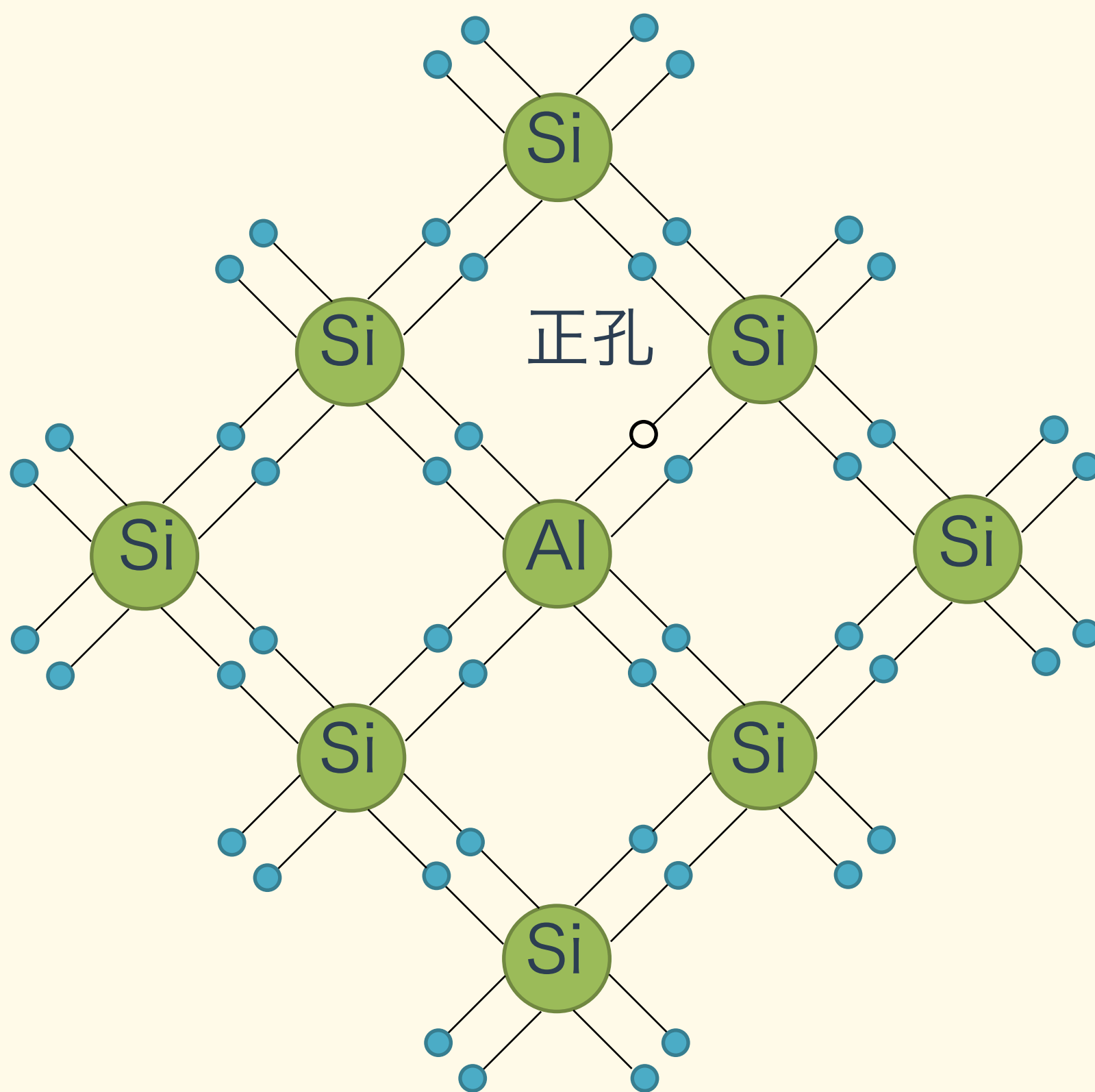
ドナー準位にあ  
る電子は僅かな  
熱エネルギーで  
励起され、伝導  
電子になる。

# p型半導体

- ▶ 真性半導体に3価の不純物（最外殻電子が3個）をドープする。
- ▶ 不純物をアクセプタ不純物という。

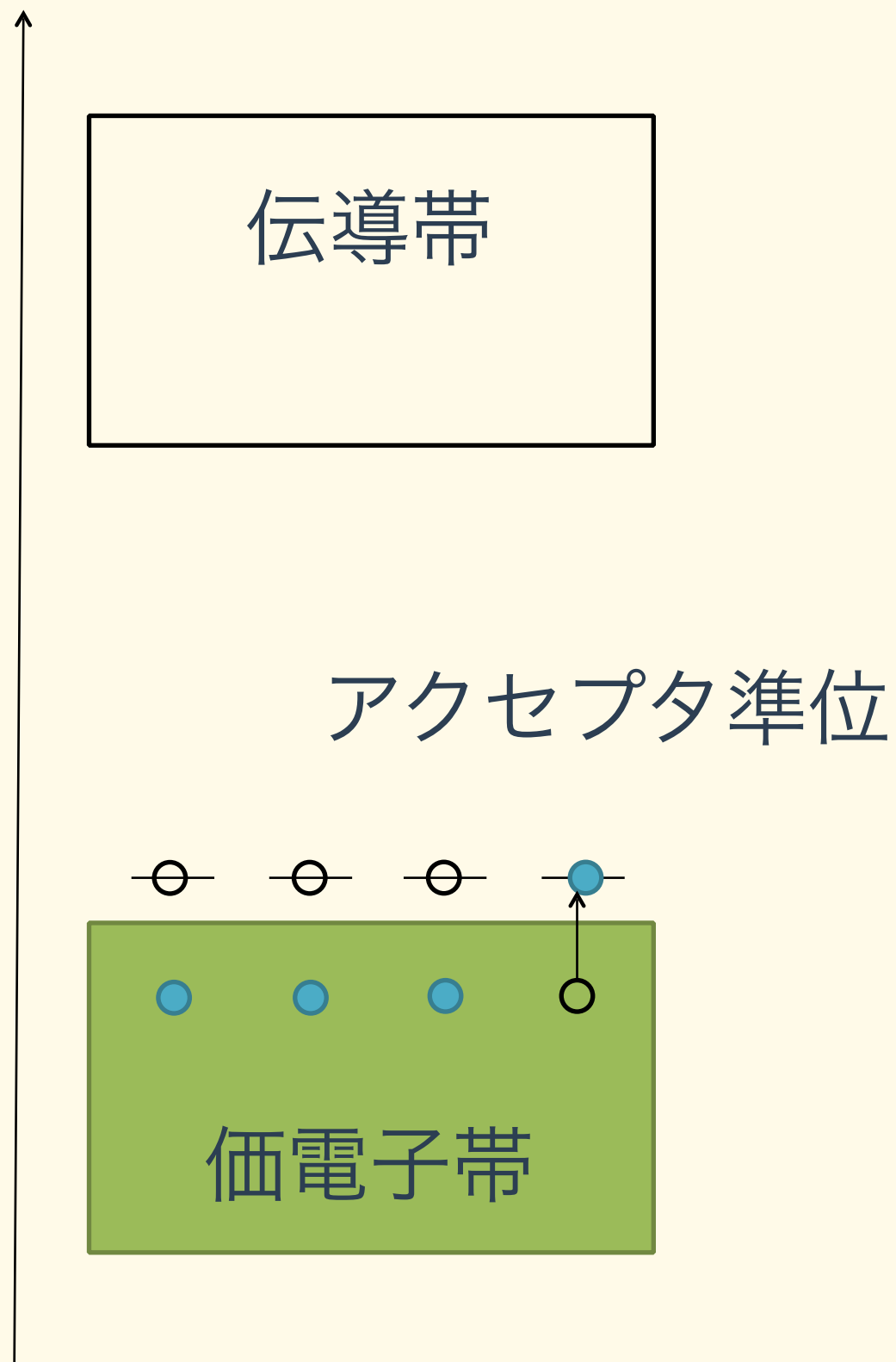


シリコンは最外殻電子が4つ    アルミニウムは最外殻電子が3つ



3価の原子を使ったため、電子が足りない状況になる。足りない場所は+の電氣的性質を持ったあな（正孔、ホール）となる。この正孔が電気を流すキャリアとなる。

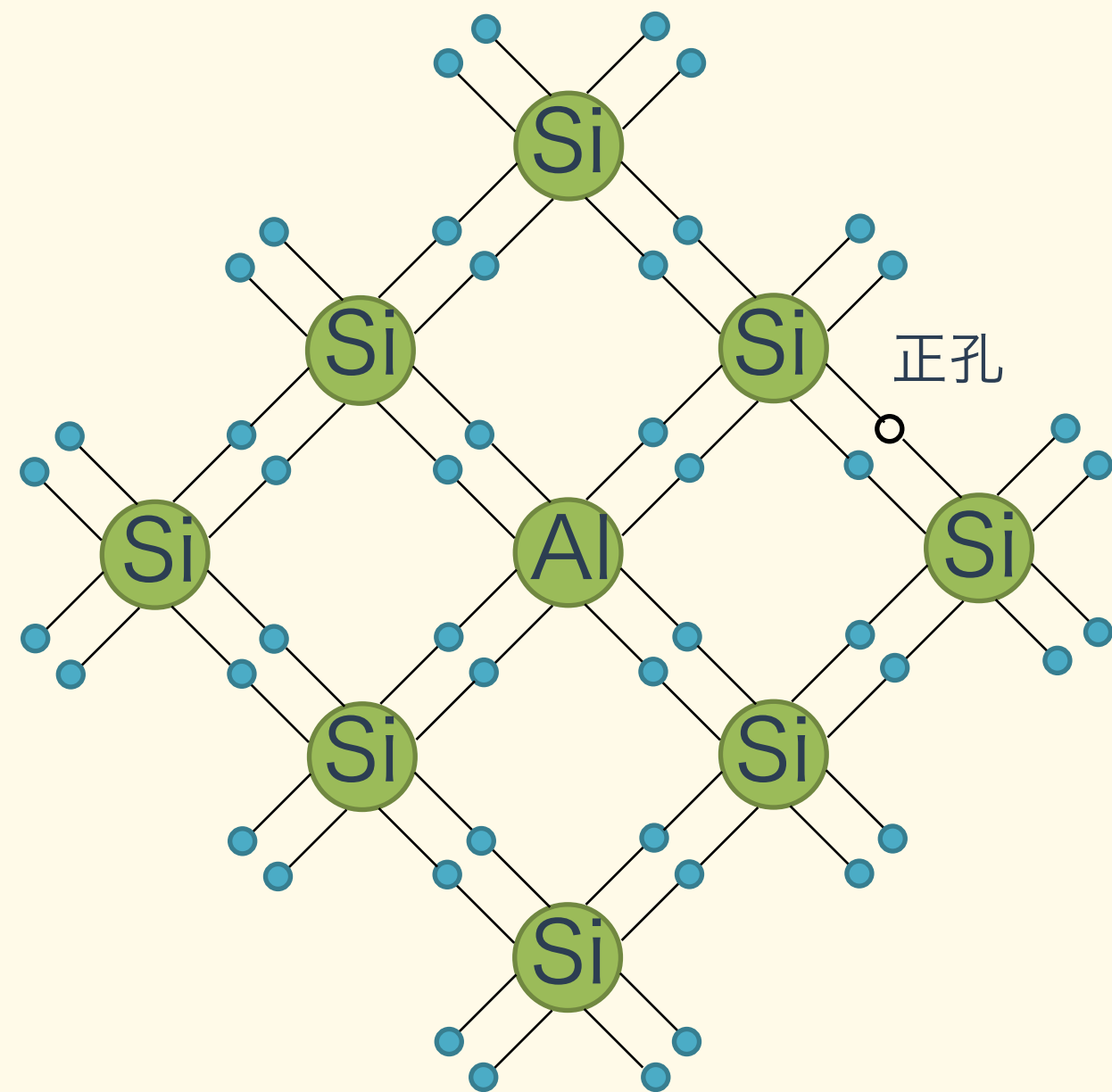
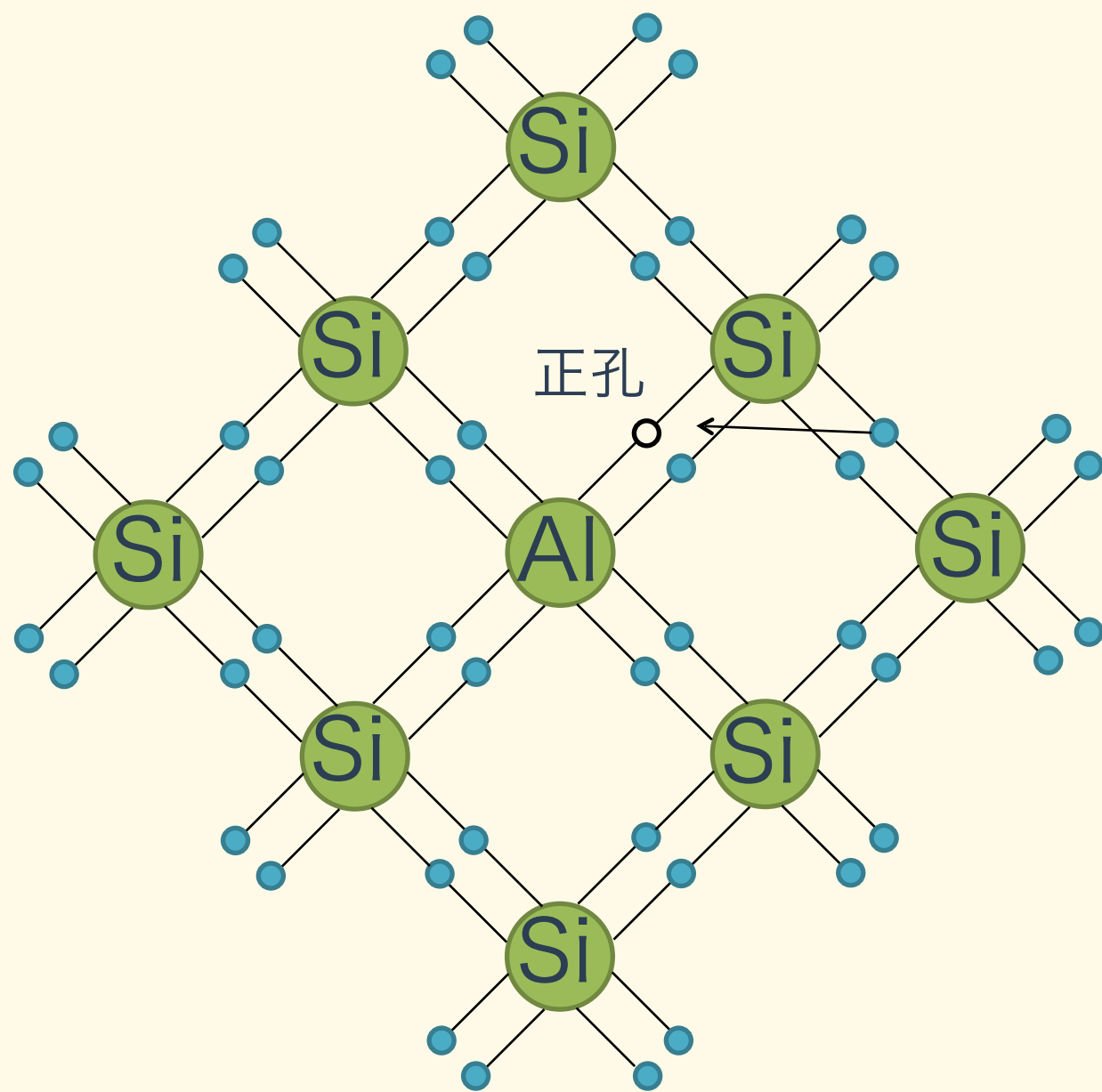




アクセプタ不純物が作るエネルギー準位をアクセプタ準位という。

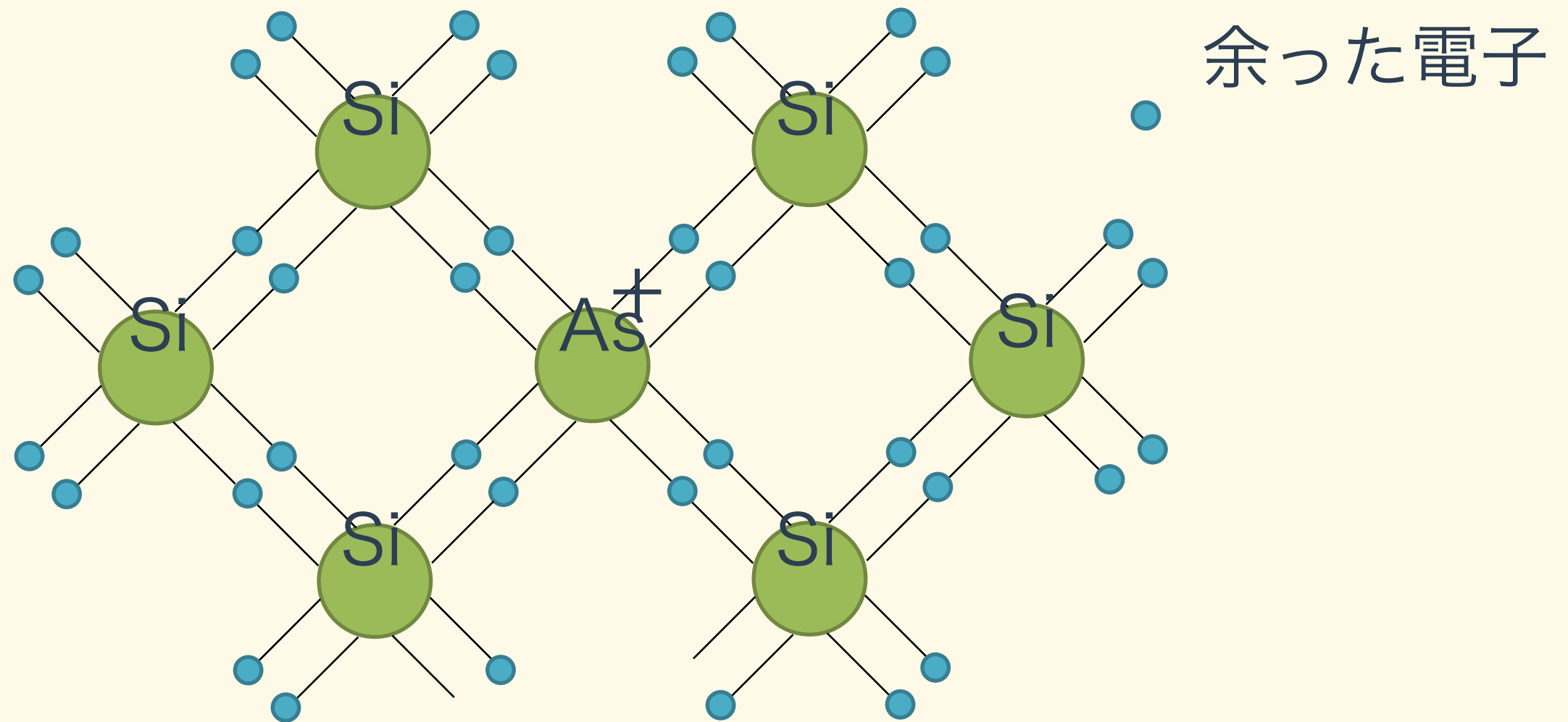
電子は熱によりアクセプタ準位励起される。その結果価電子帯に正孔が形成される。

これは、結晶の結合手から電子が次々と正孔を埋めていくことに対応する。



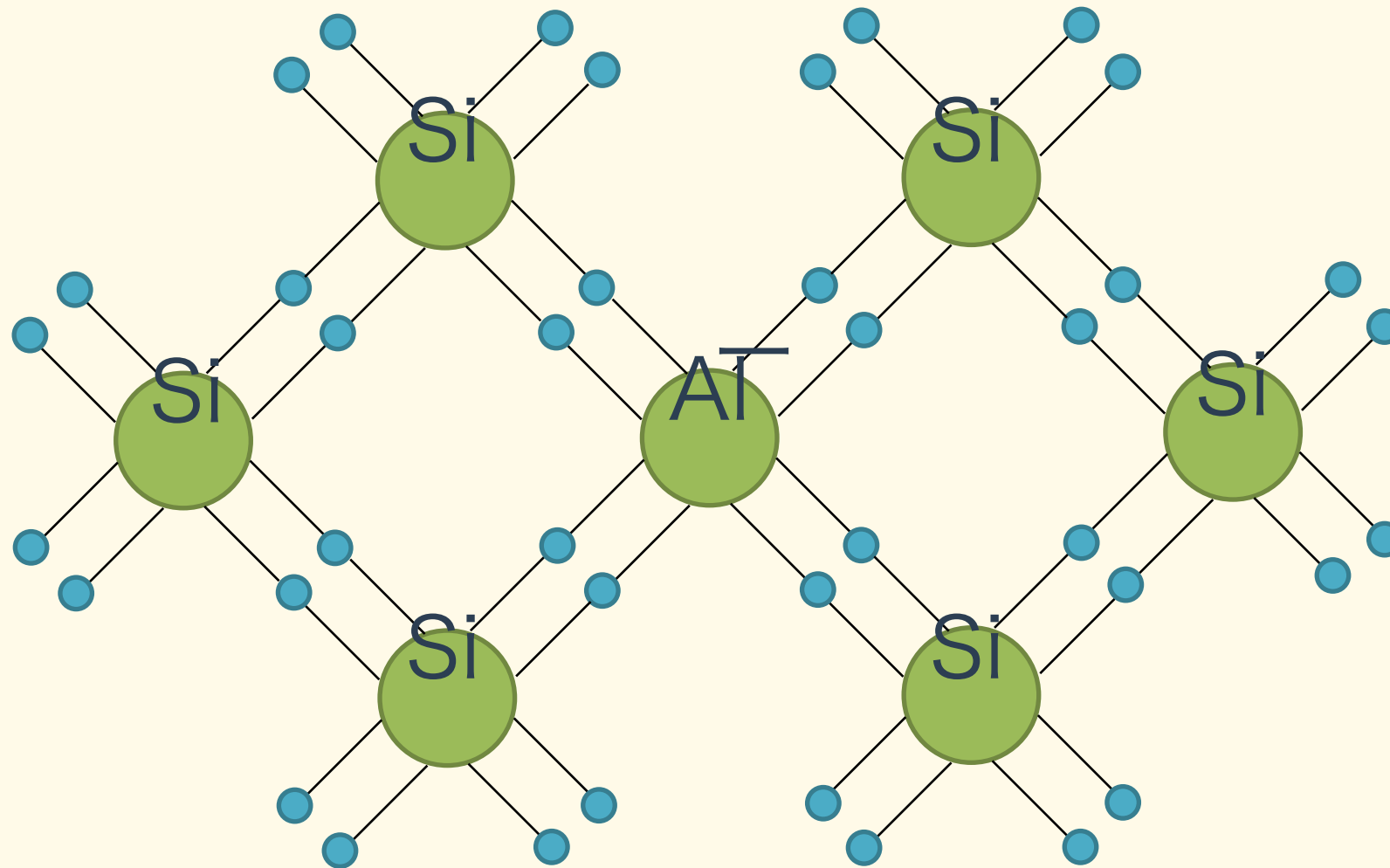
椅子取りゲームのように正孔に電子が移動する。結果として正孔は結晶内を移動することになる。

# ドナーイオン



ドナーから余った電子が遠くへ行ってしまうと、ドナーは電氣的には+となる（イオン化される）。イオン化されたドナーをドナーイオンと呼ぶ。

# アクセプタイオン



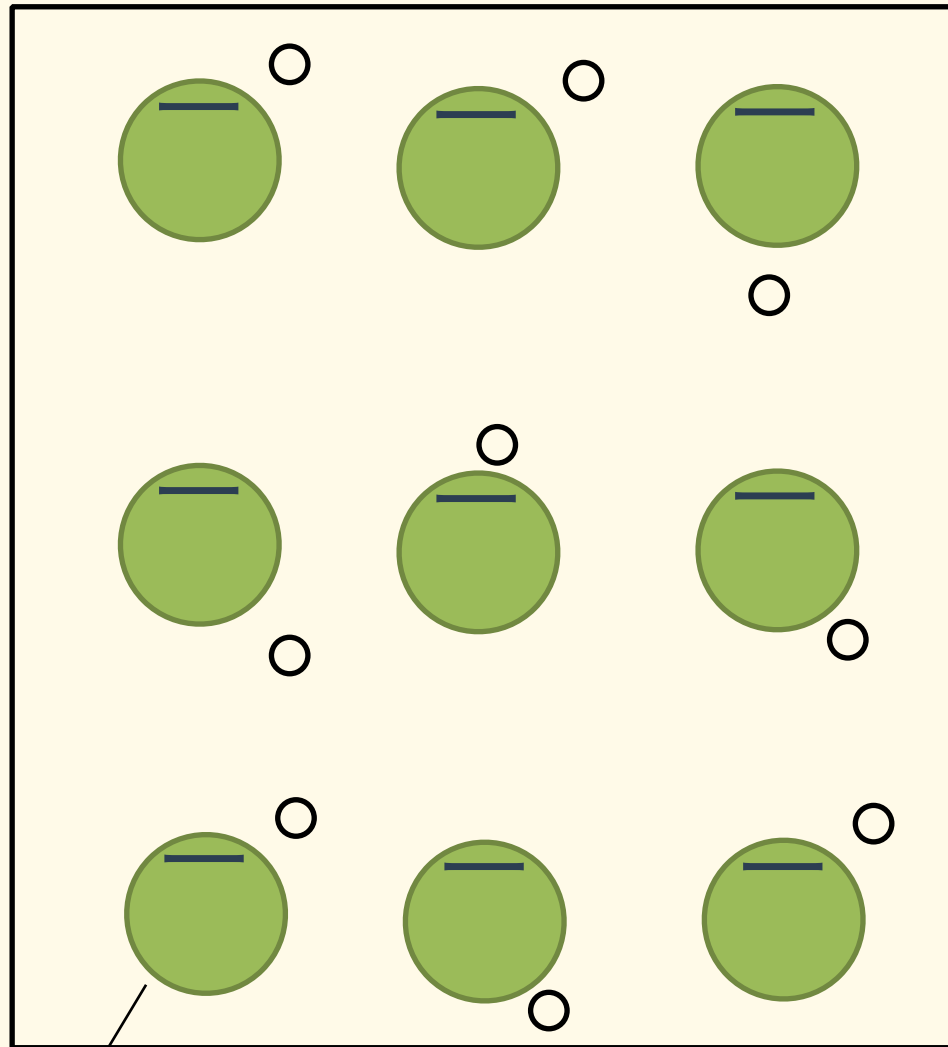
正孔に電子が入ってしまうと、アクセプタ不純物は電氣的に一になる。イオン化されたアクセプタ不純物をアクセプタイオンと呼ぶ。



# pn接合

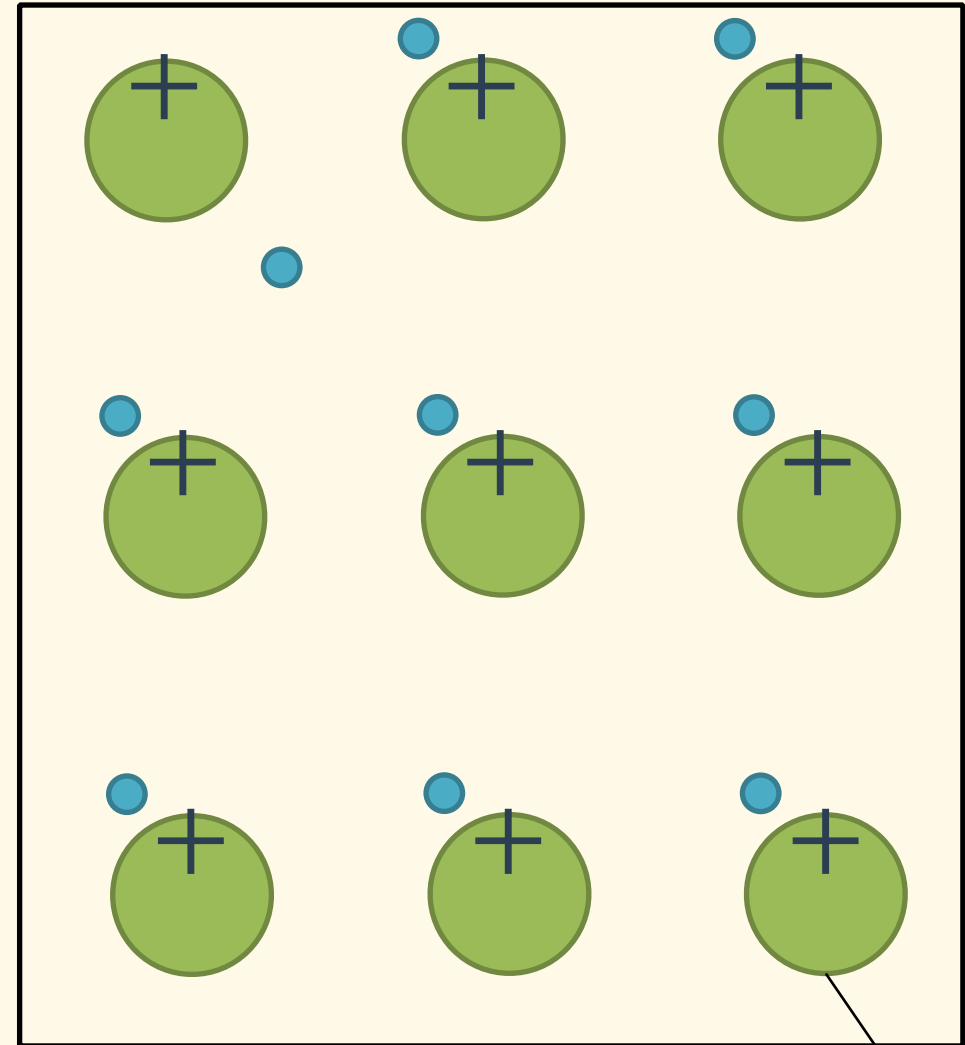
- ▶ P型半導体とn 型半導体をくっつけたもの

ホール



アクセプタイオン

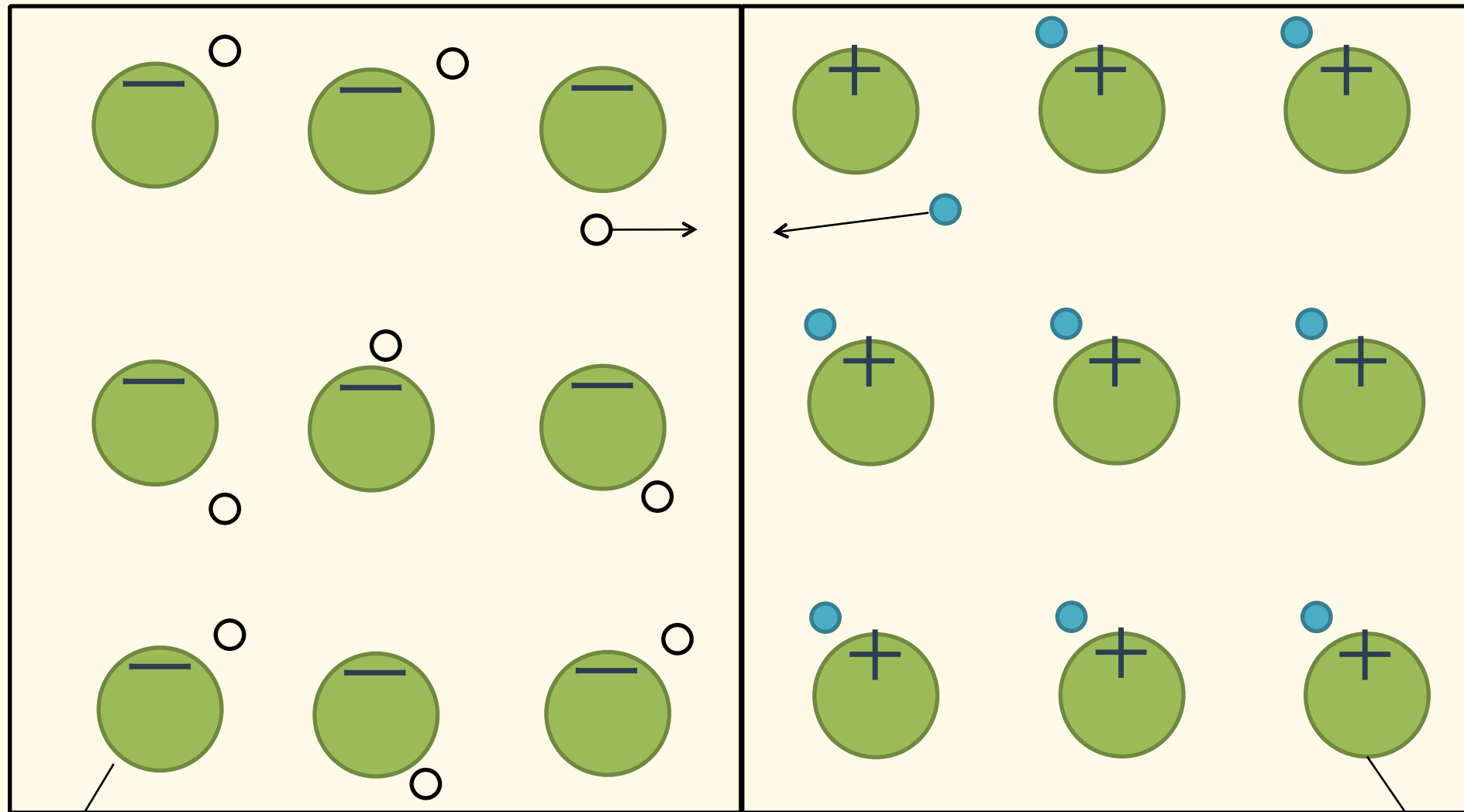
電子



ドナーイオン

ホール

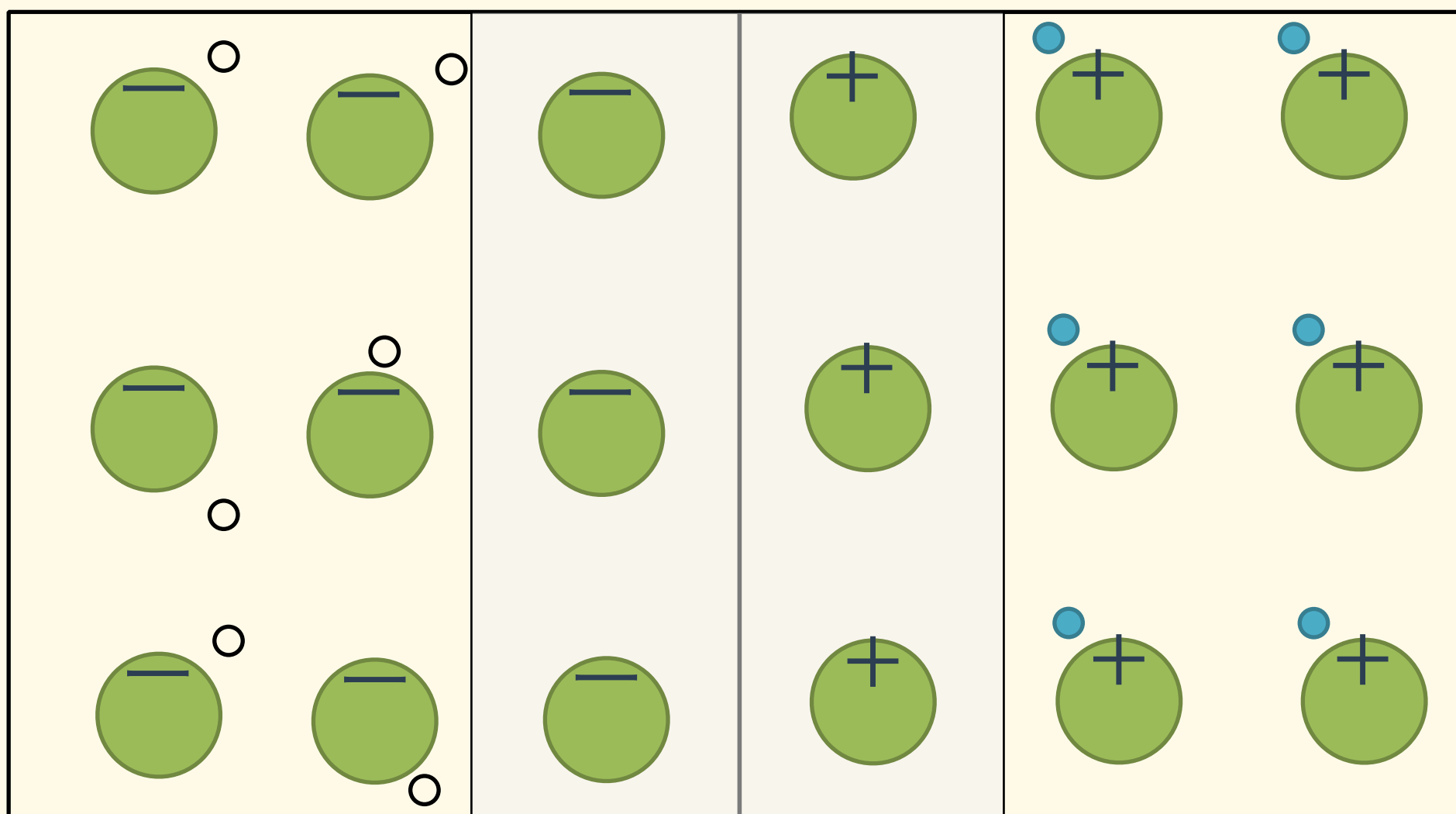
電子



アクセプタイオン

ドナーイオン

多数キャリアのホールや電子は熱で拡散されお互いにく



空乏層

キャリアが少ない状態



電場

正孔と電子が電氣的に中和することで、電荷に偏りが生じる。  
これにより、接合部では電場が生じる。



# pn接合のエネルギーバンド

伝導帯

価電子帯

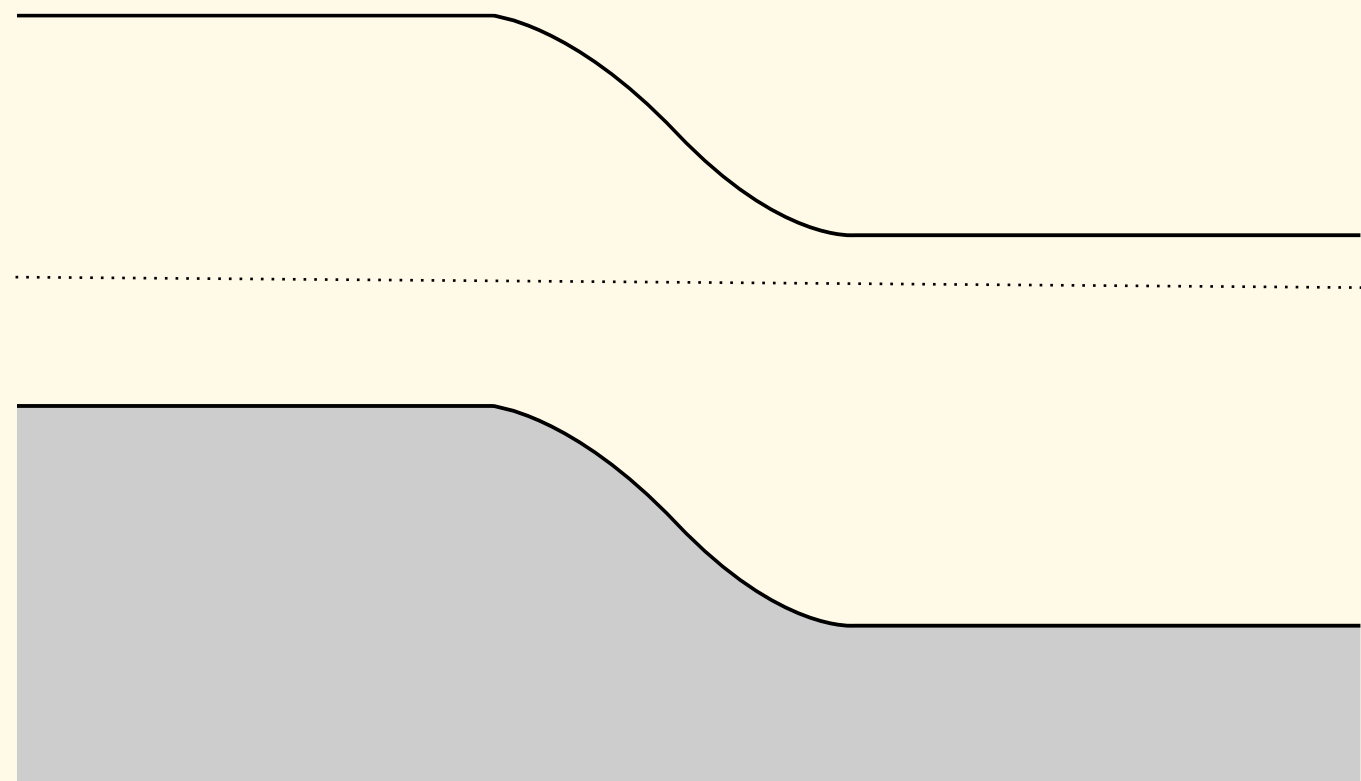


P型半導  
体のエネ  
ルギーバ  
ンド

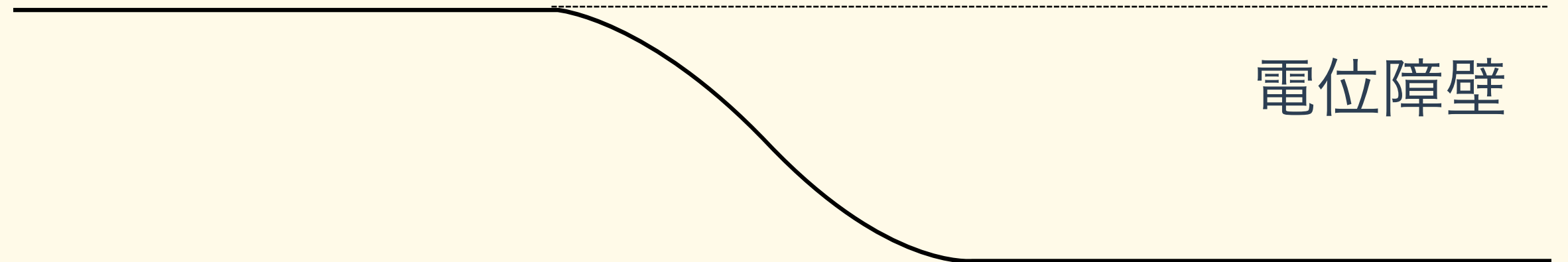
N型半導  
体のエネ  
ルギーバ  
ンド

P型

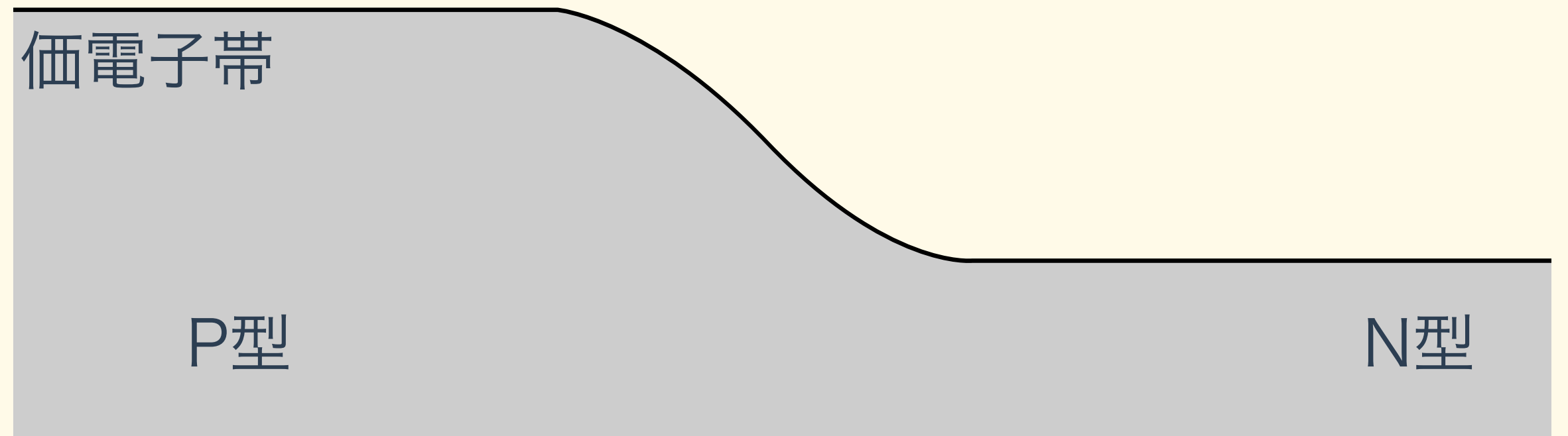
N型



伝導帯



価電子帯



# ダイオード

- ▶ 整流機能を持つ
- ▶ 電流を一定の方向にしか流さない

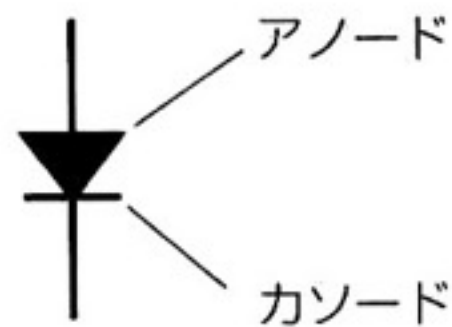
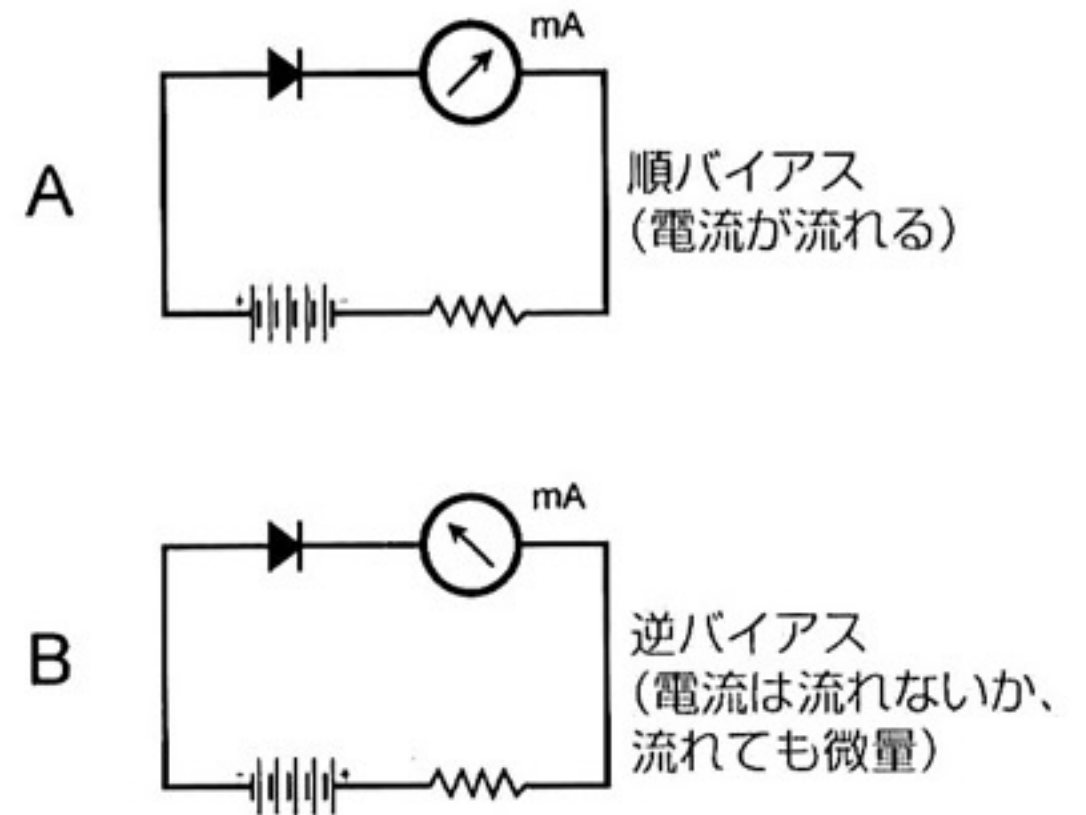


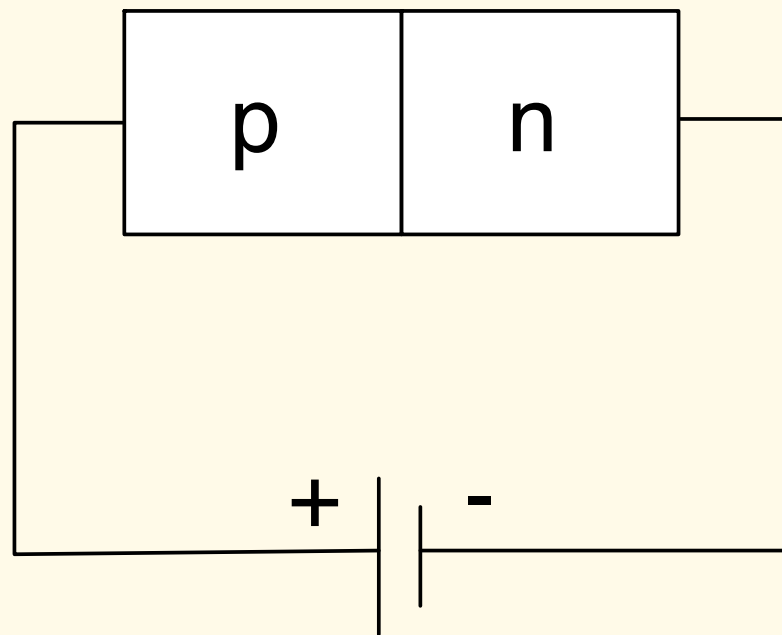
図19-3：半導体ダイオードの回路図の記号



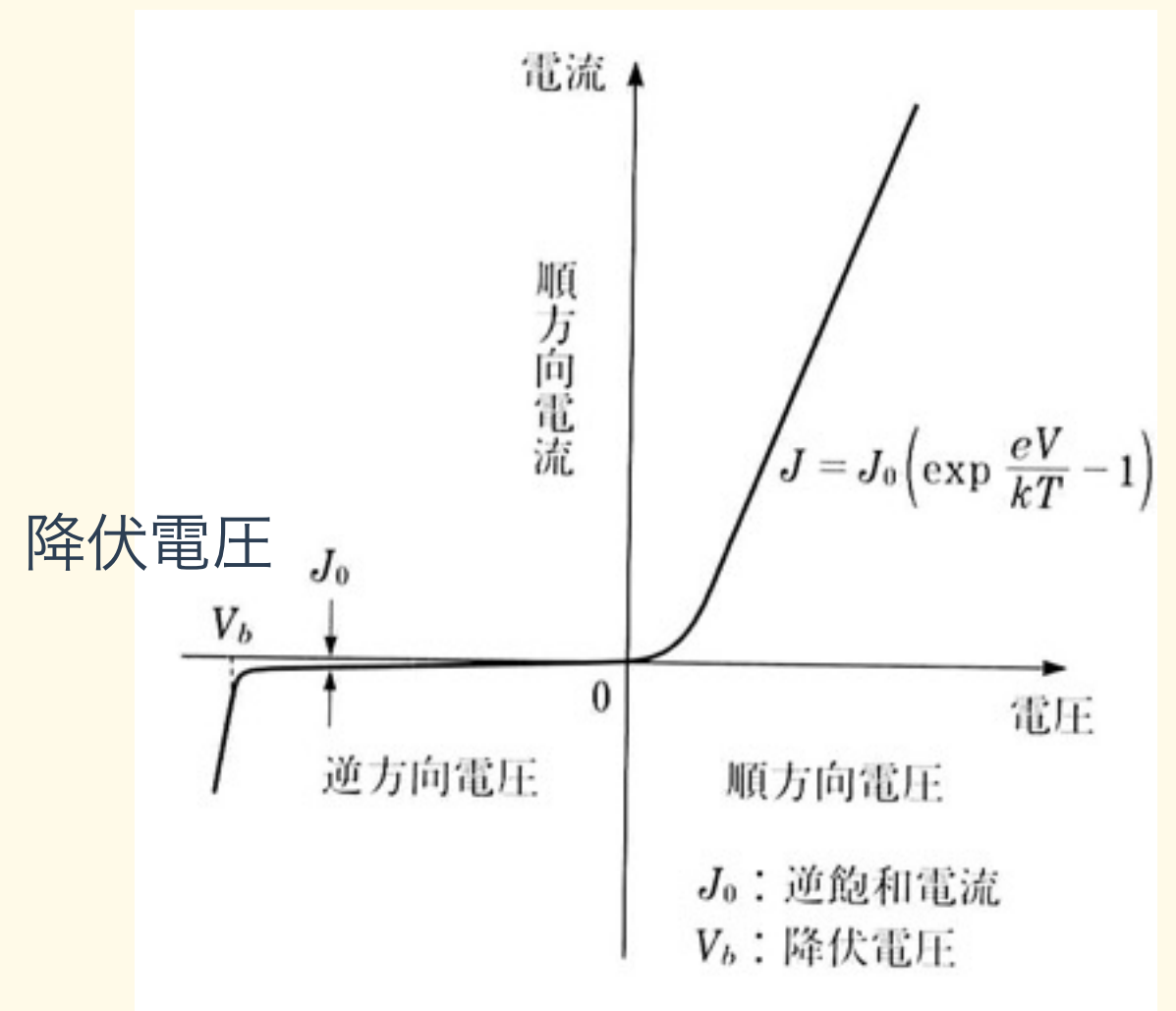
(Gibilisco, 独習電気電子工学)

# pn接合ダイオード

- ▶ Pn接合で実装したダイオード

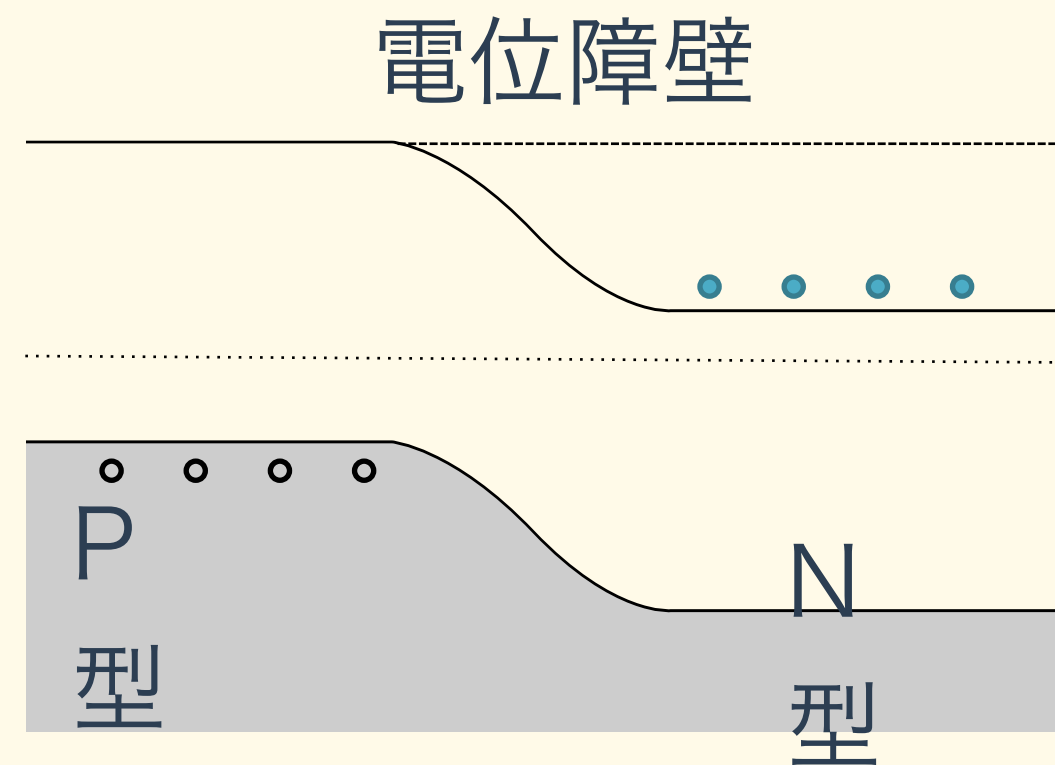
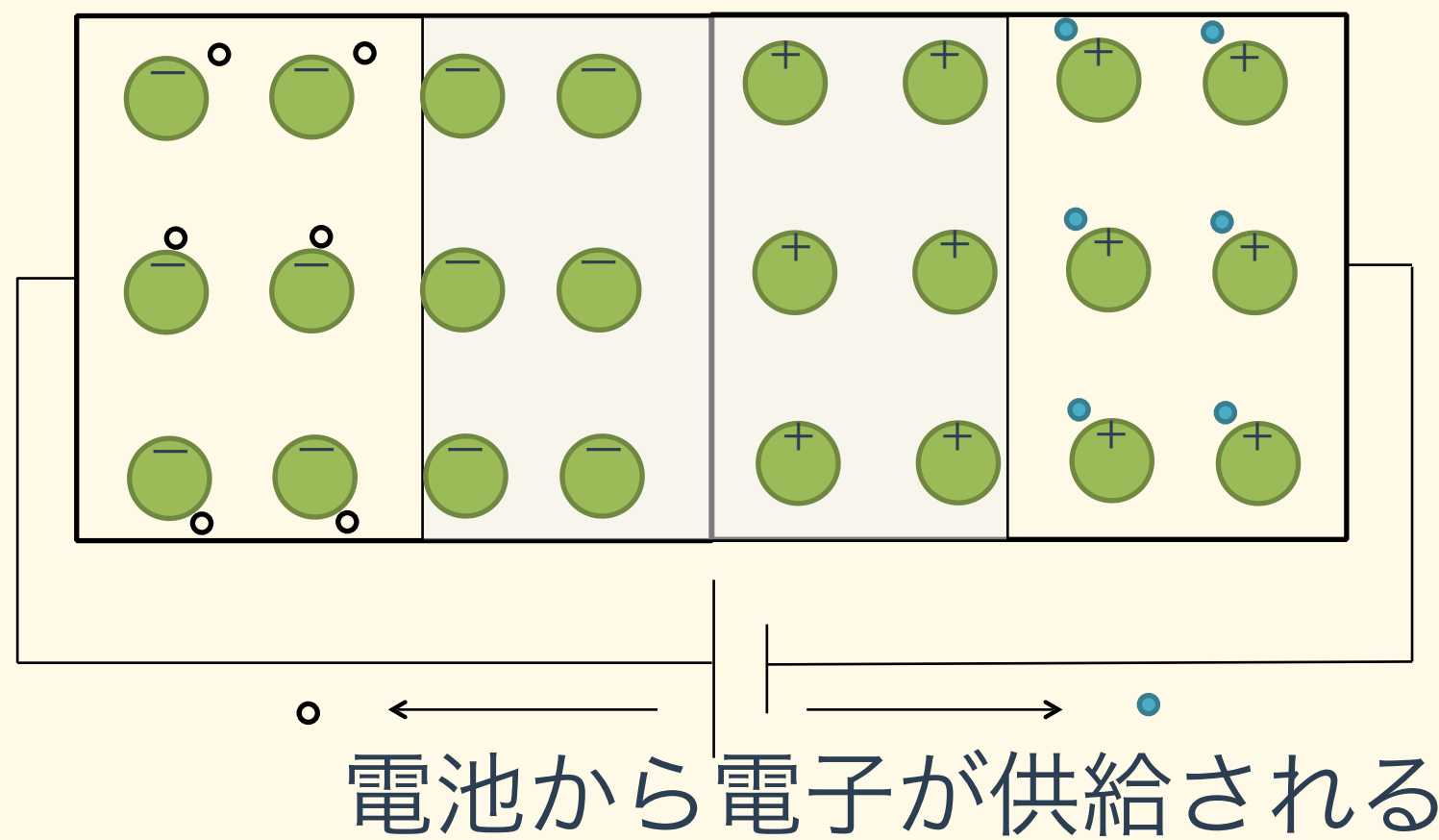


ダイオードにかかる電圧と電流の関係

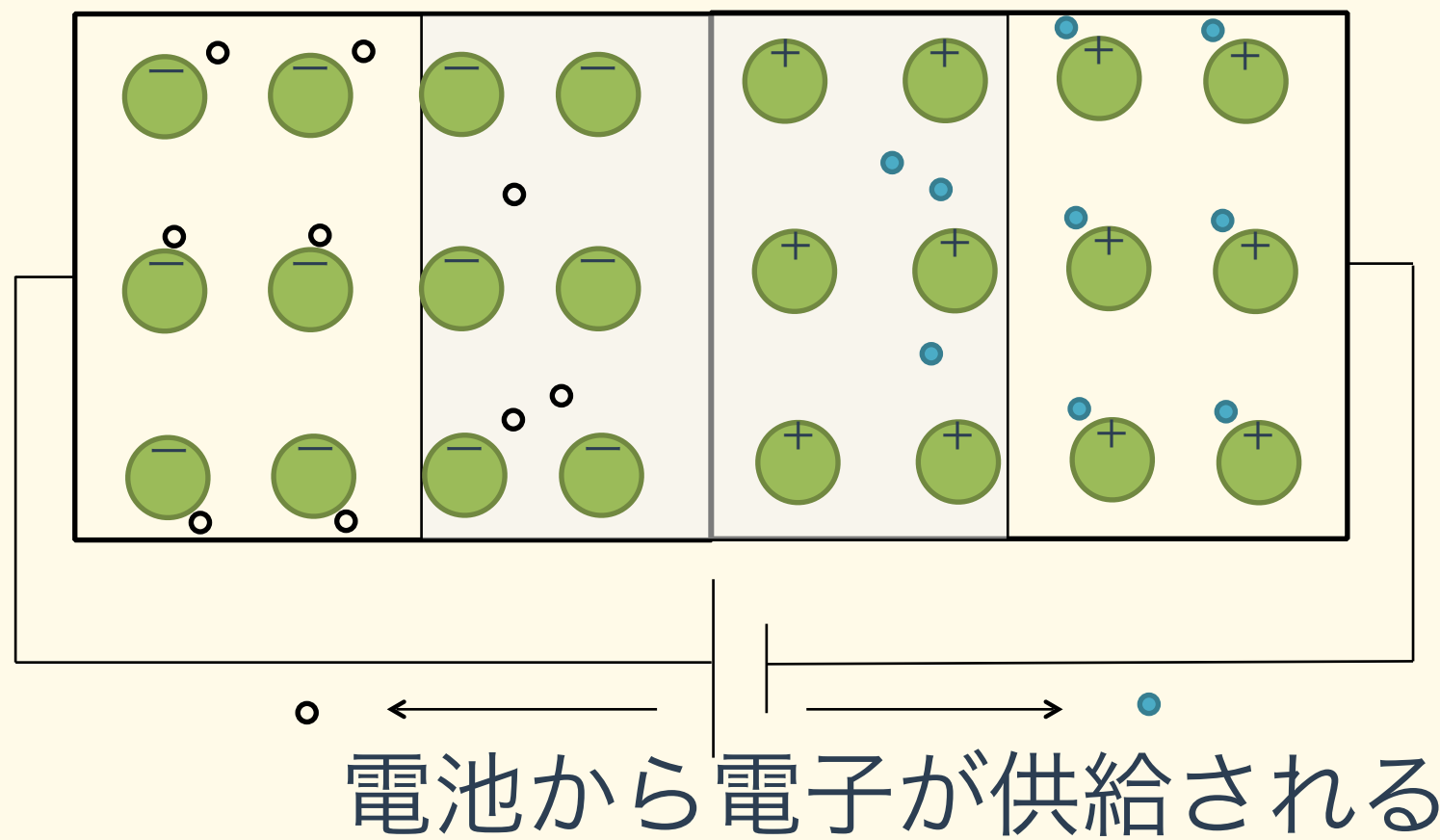


(豊田, 半導体の科学とその応用)

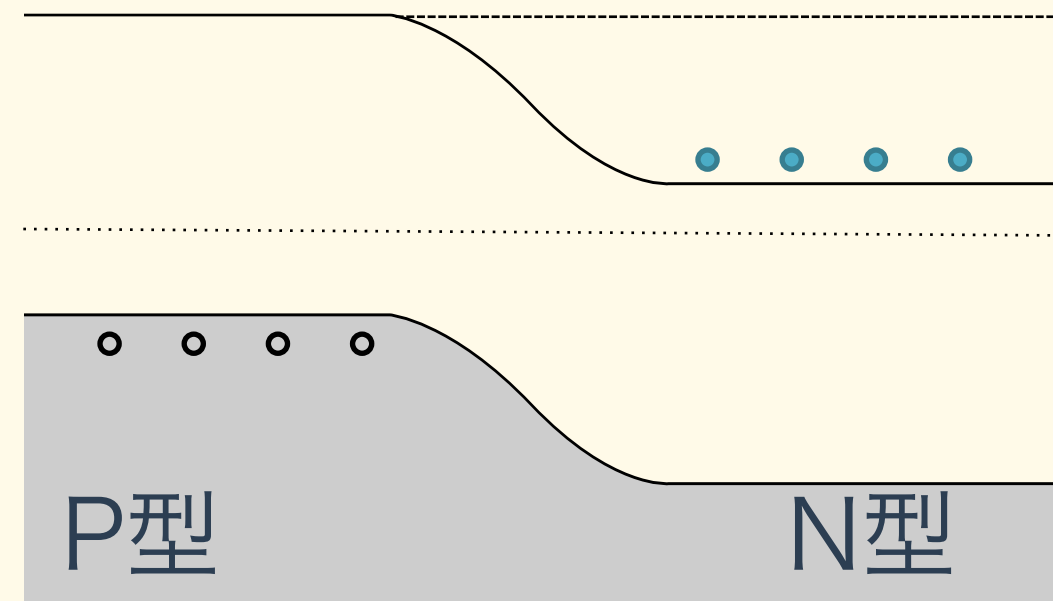
# 順バイアスの時



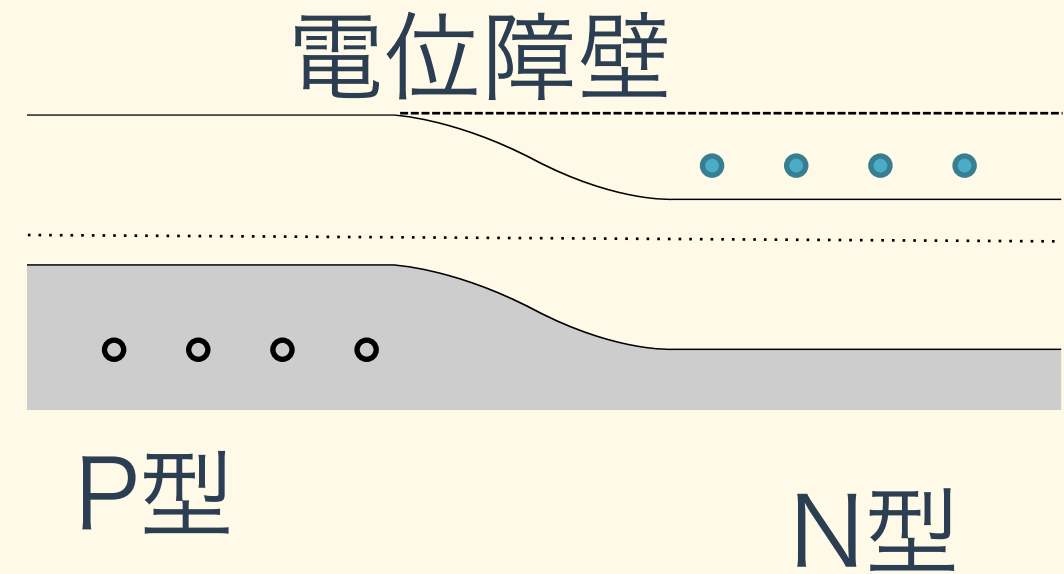
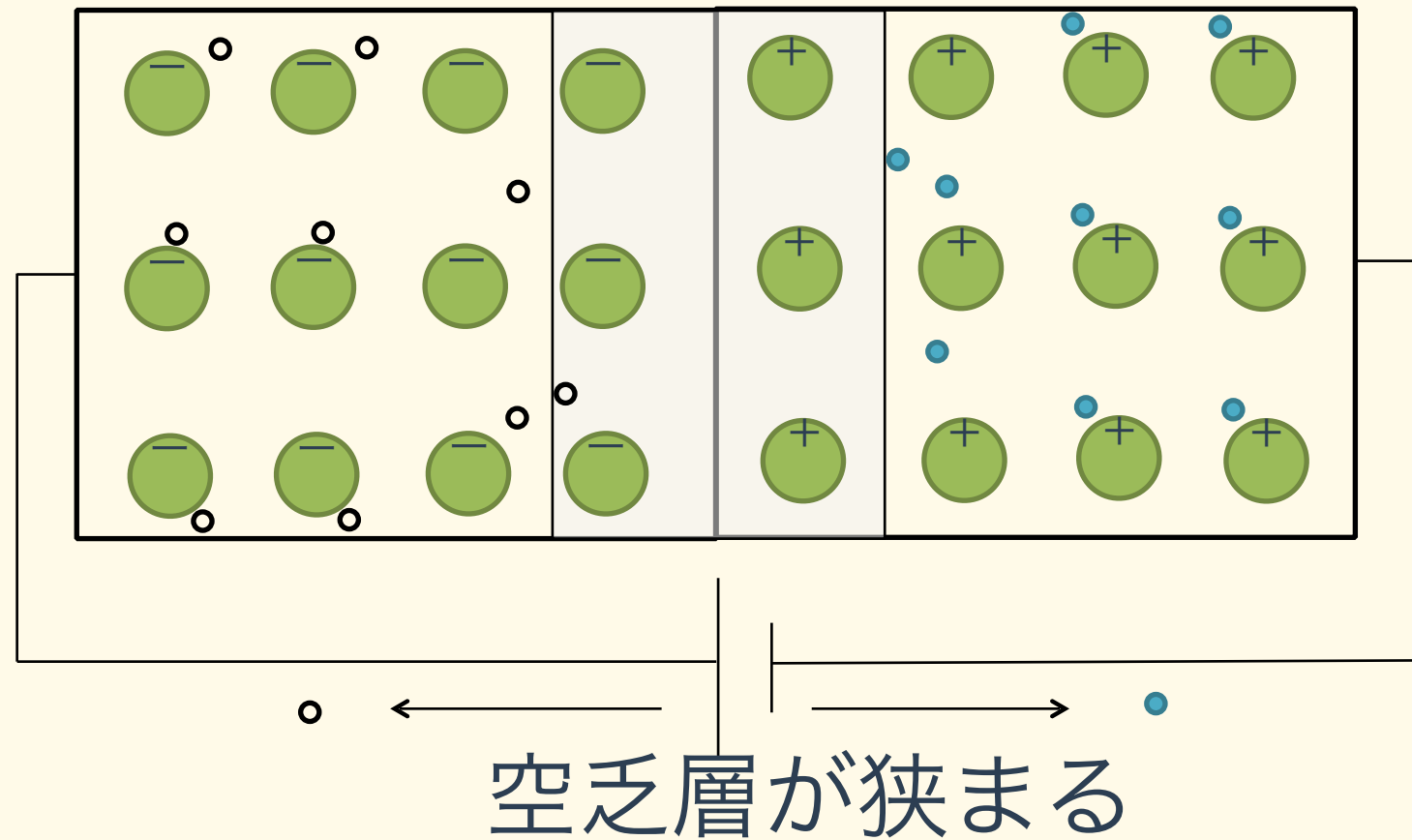
# 順バイアスの時



電位障壁



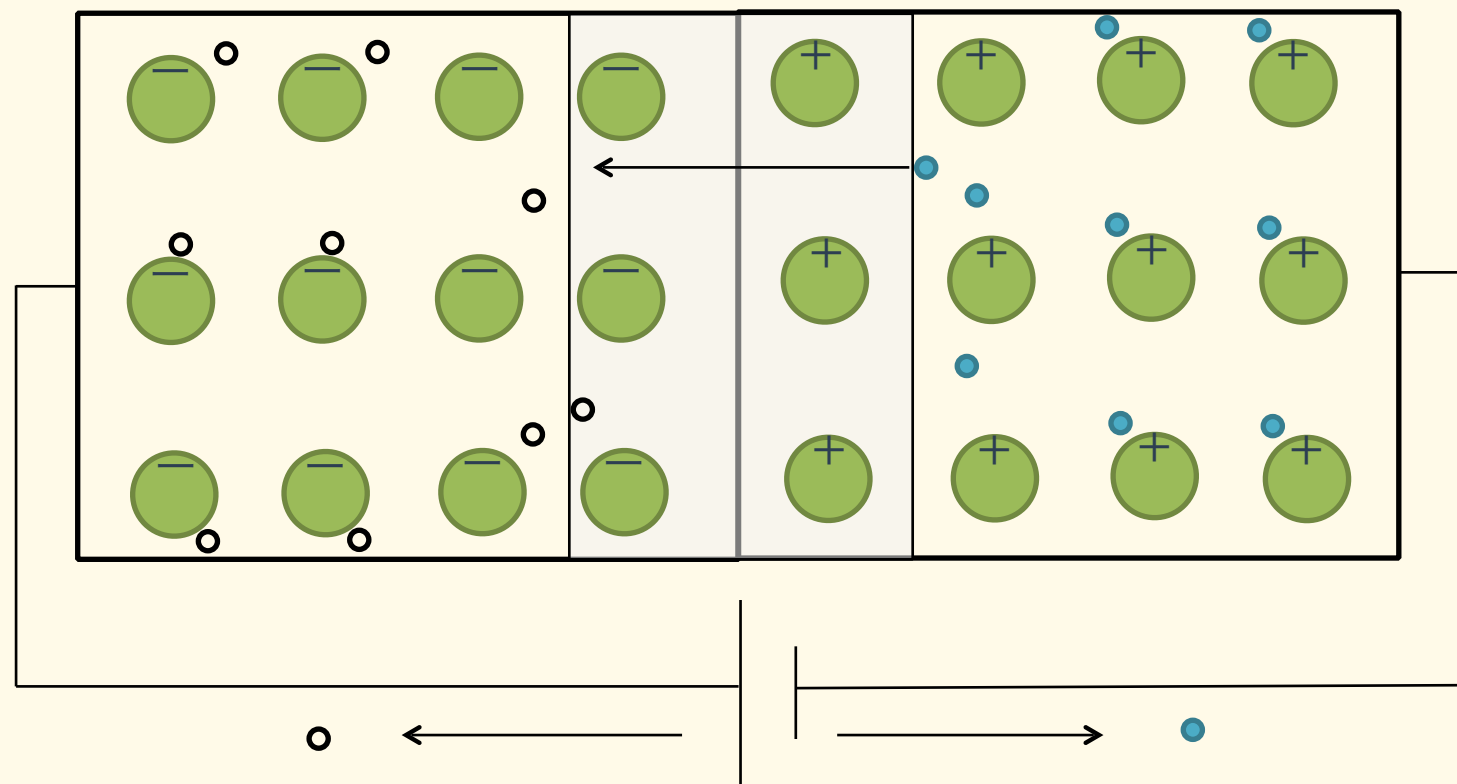
# 順バイアスの時



電位障壁が低くなる

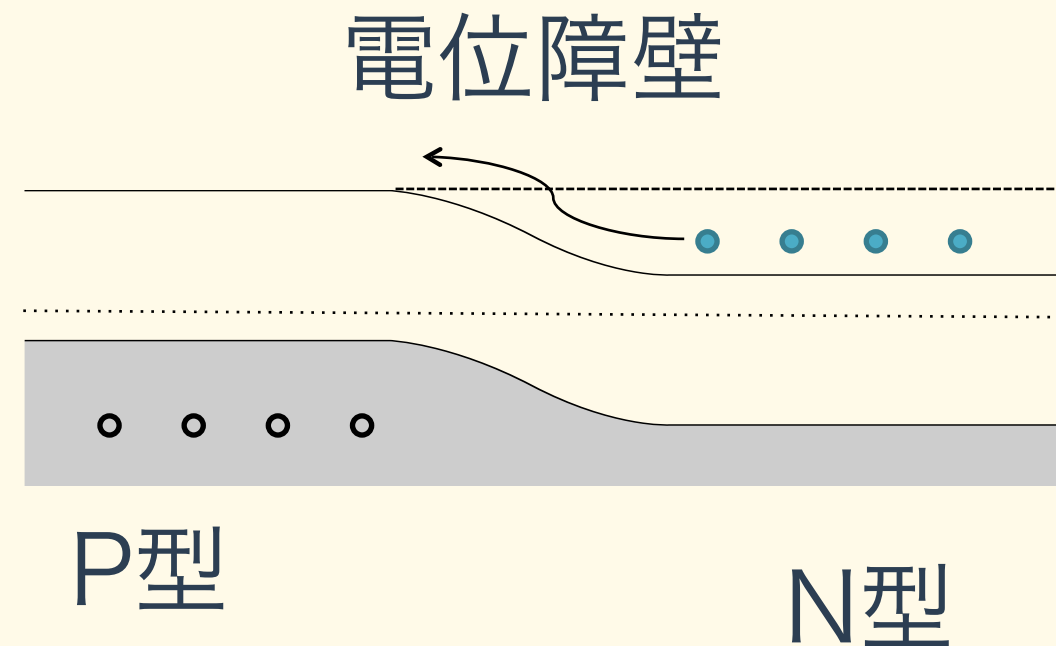


# 順バイアスの時



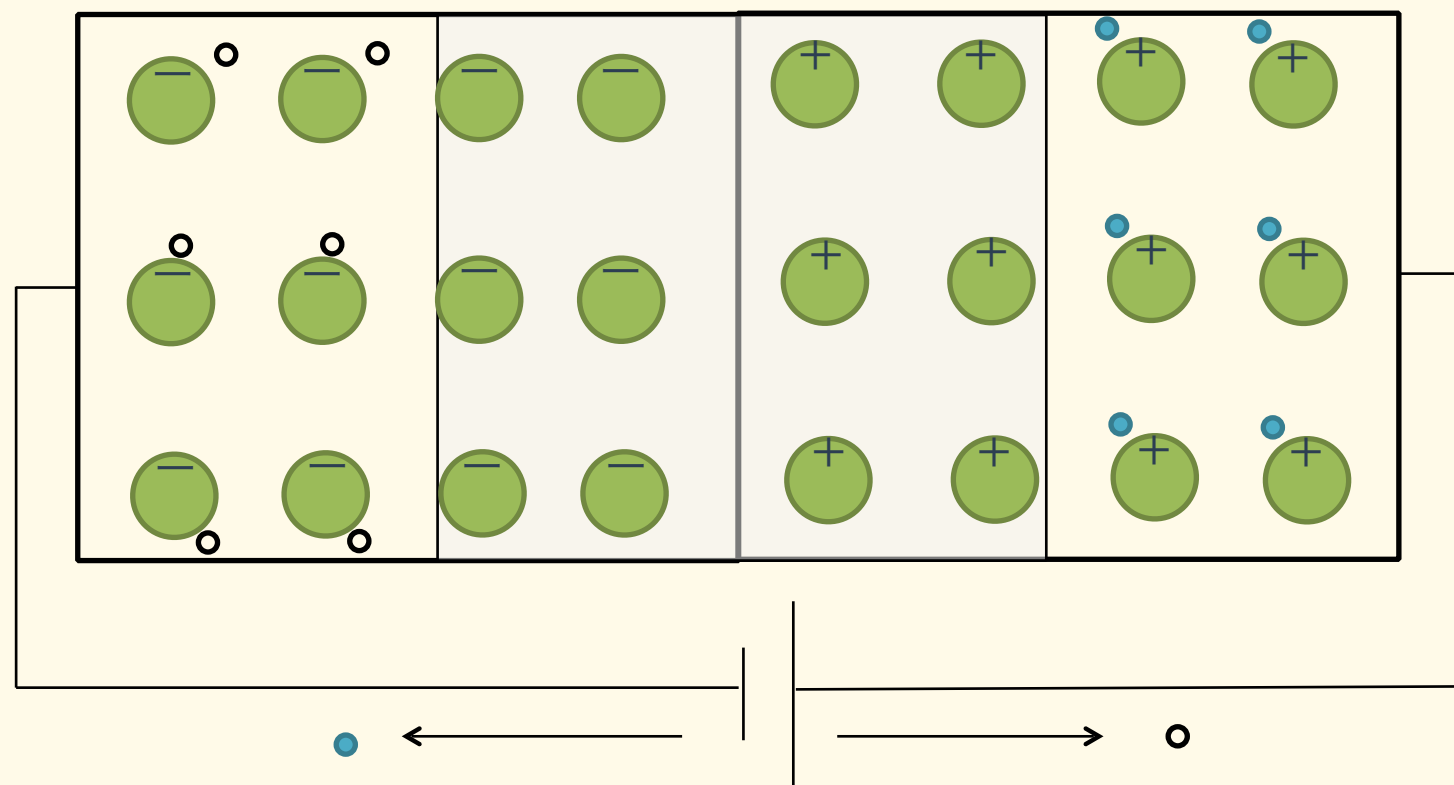
空乏層が狭まり、内部電場が弱まる。これにより電子は空乏層を越えることができる。

ドナーイオンとアクセプタイオンにより生じていた内部電場が弱まり、電位障壁が低くなる。これにより、電流が流れる。このように電流を流しやすい方向に電圧をかけることを順バイアス（順方向バイアス）という。

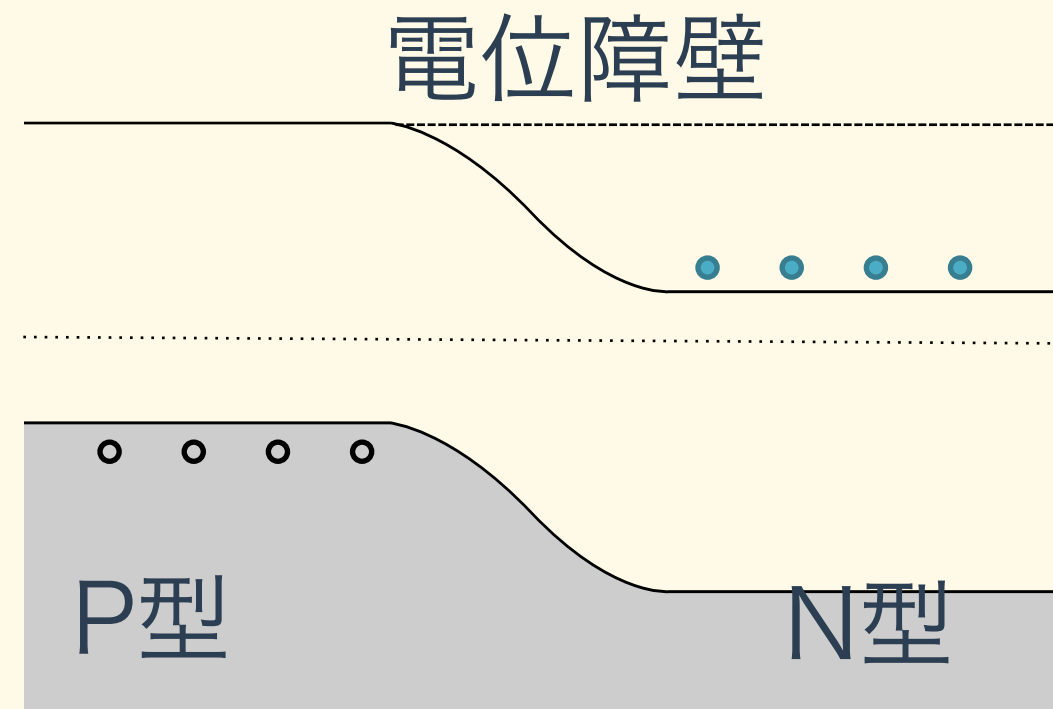


電位障壁が低くなるので、電子が障壁を飛び越えられる

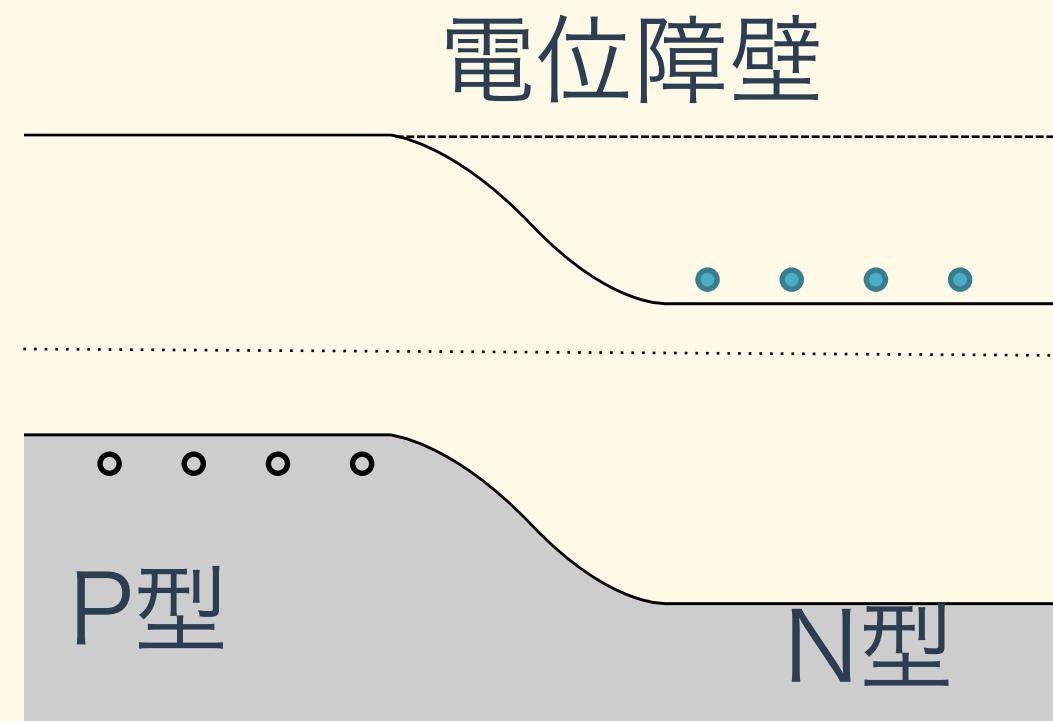
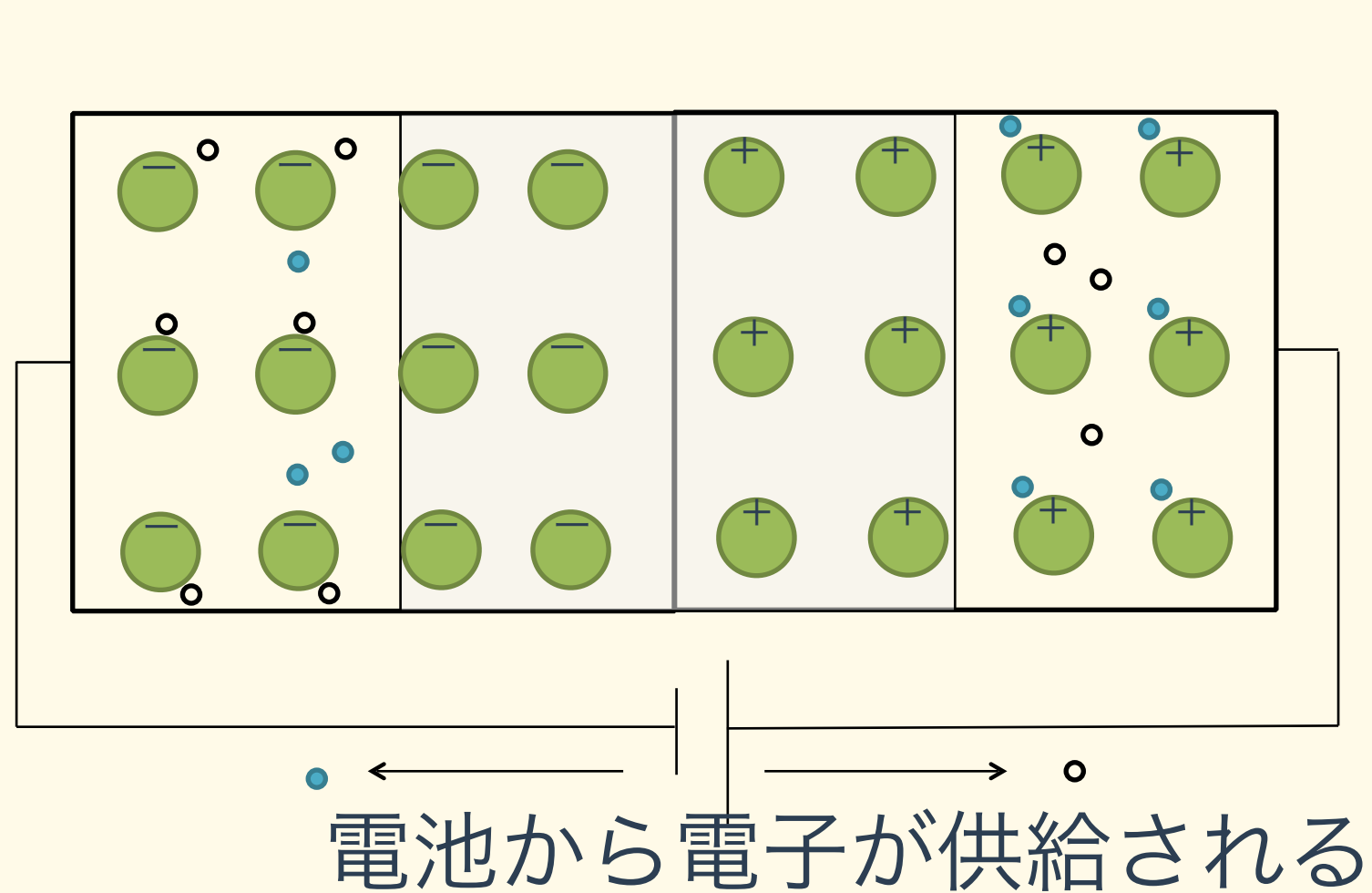
# 逆バイアスの時



電池から電子が供給される

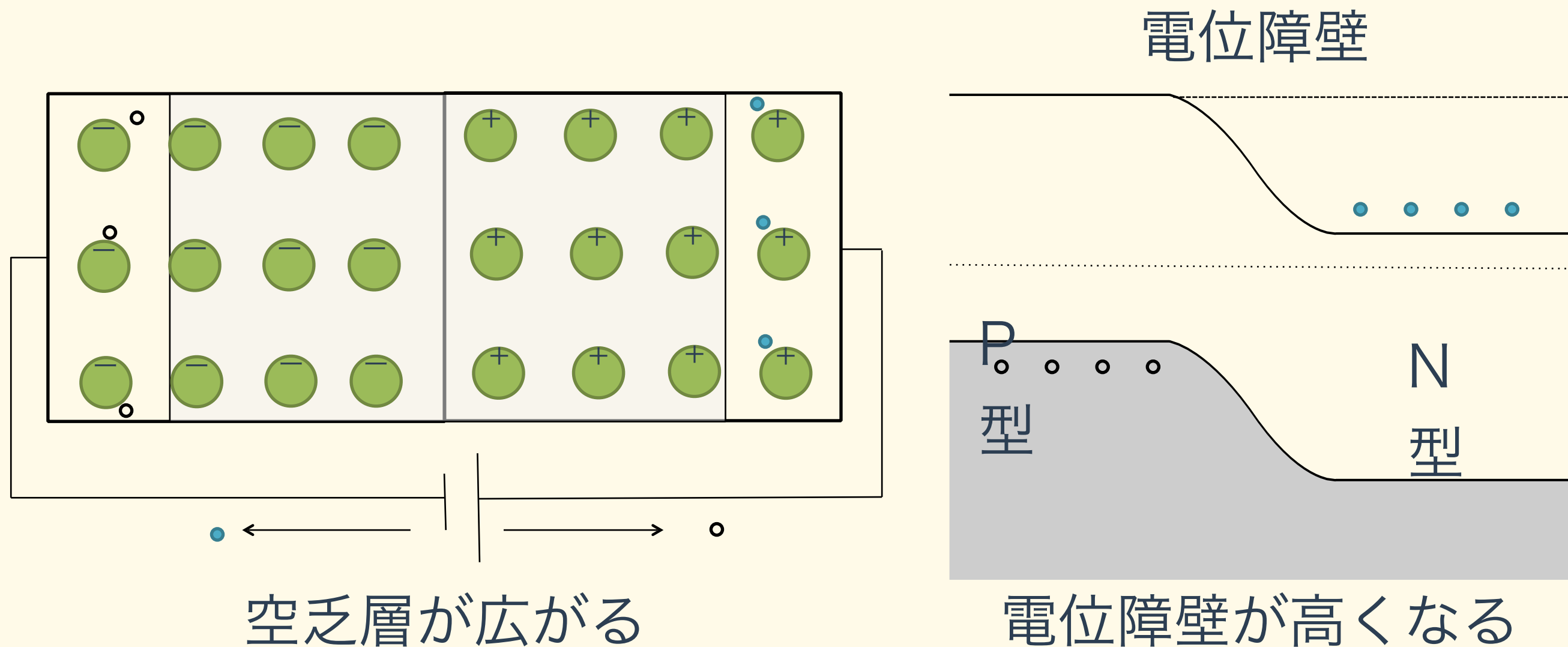


# 逆バイアスの時



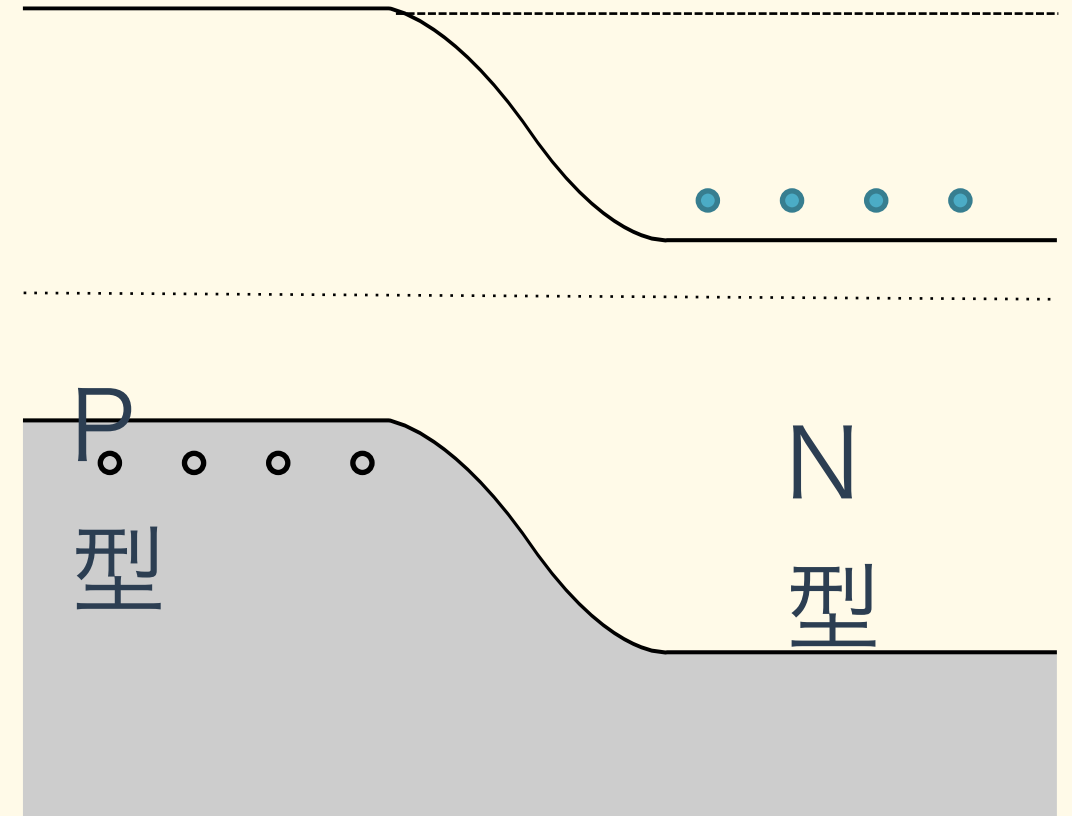
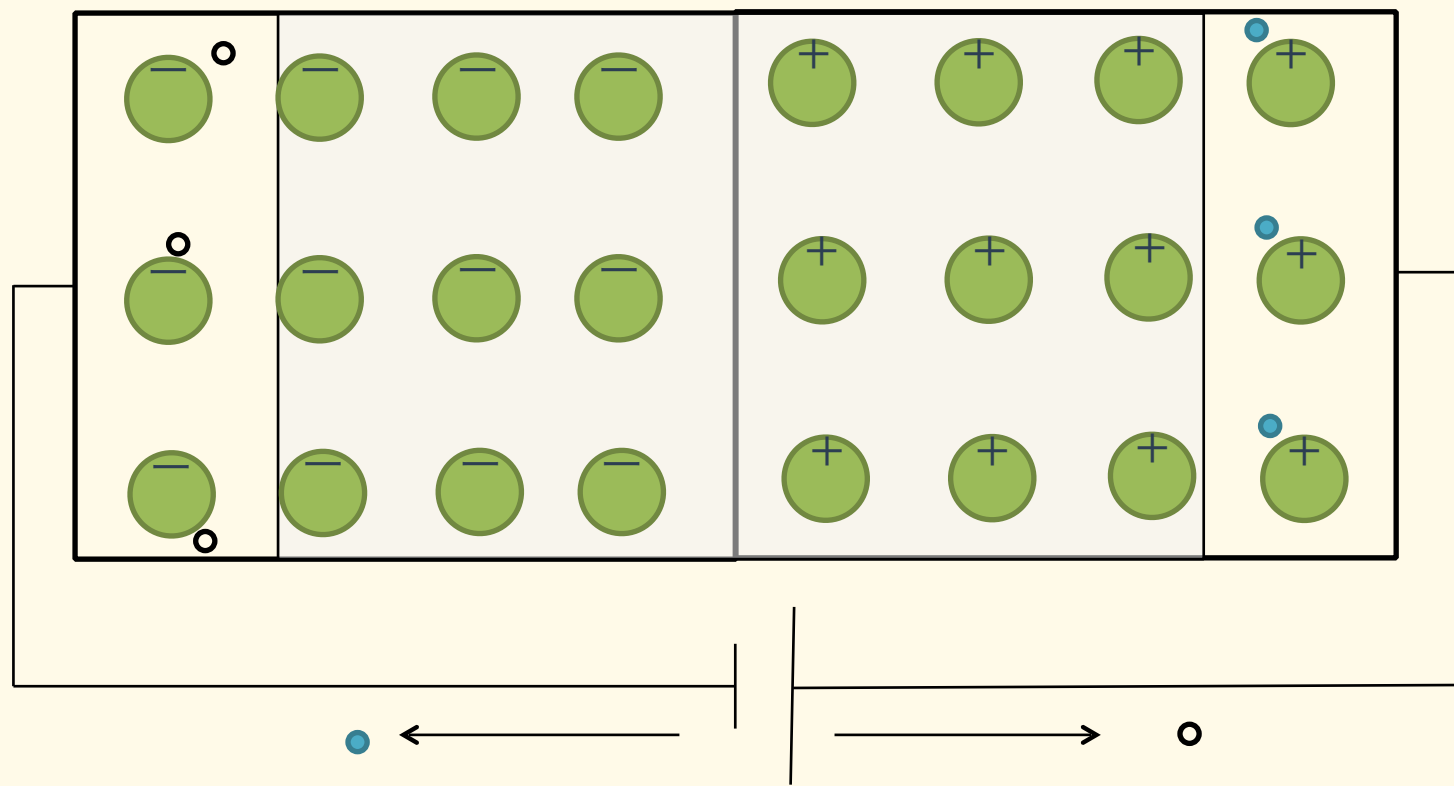
電池からp型半導体には電子が、n型半導体には正孔が増える。

# 逆バイアスの時



p型半導体に供給された電子はキャリアである正孔と中和され、n型半導体に供給された正孔はキャリアである電子と中和される。そのことで空乏層が広がる（電位障壁が高くなる）。

# 逆バイアスの時



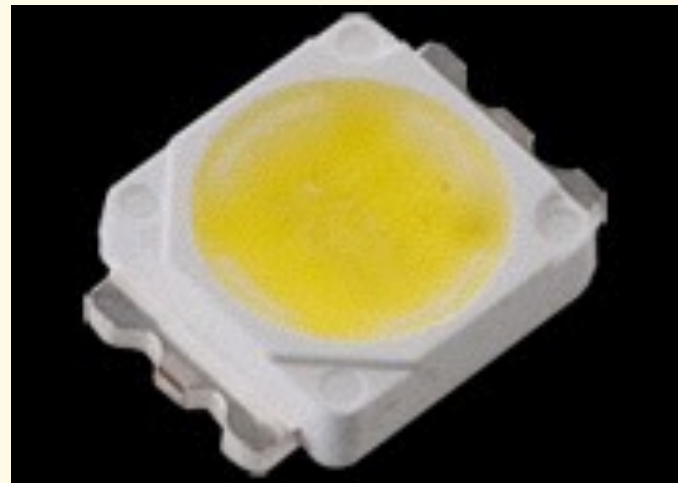
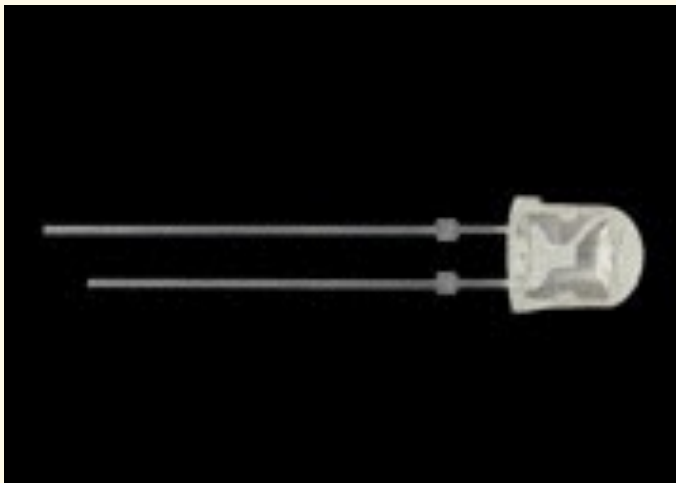
空乏層が広がり、内部電場が強くなる。それにより  
用意には空乏層を通り抜けられなくなる。

電位障壁が高くなるので、電子が  
障壁を飛び越えられない。

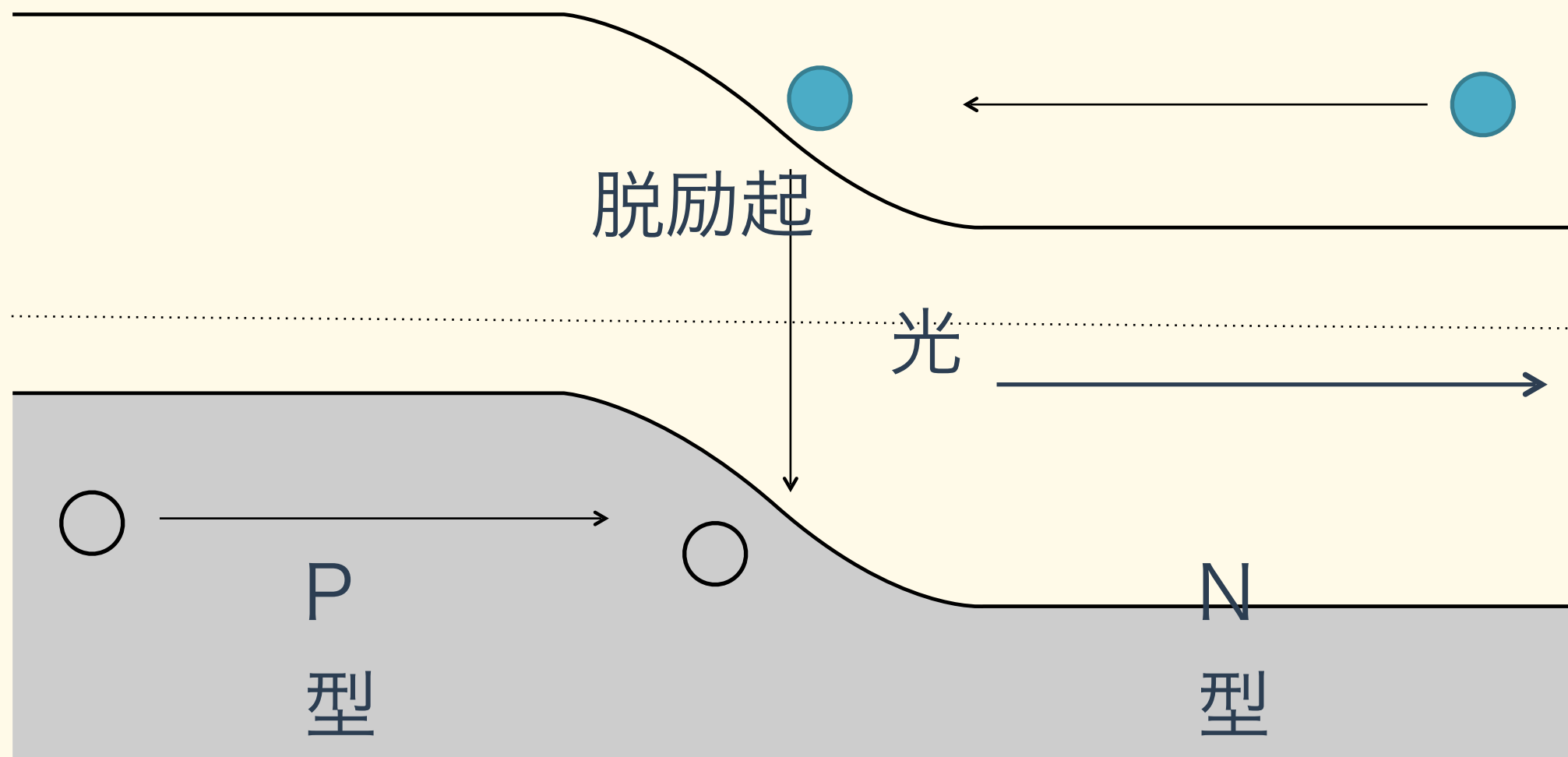
ドナーイオンとアクセプタイオンにより生じていた内部電場が強まり、電位障壁が高くなる。これにより、電流が流れにくくなる。このように電流を流しにくい方向に電圧をかけることを逆バイアス（逆方向バイアス）という。

# 発光ダイオード

- ▶ 発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode)



# 発光ダイオード



順バイアスをかけると電子と正孔が接合部でぶつかり、電子のエネルギー準位が下がる。その時、電子が失ったエネルギーが光として放出される。

# 光電変換デバイス

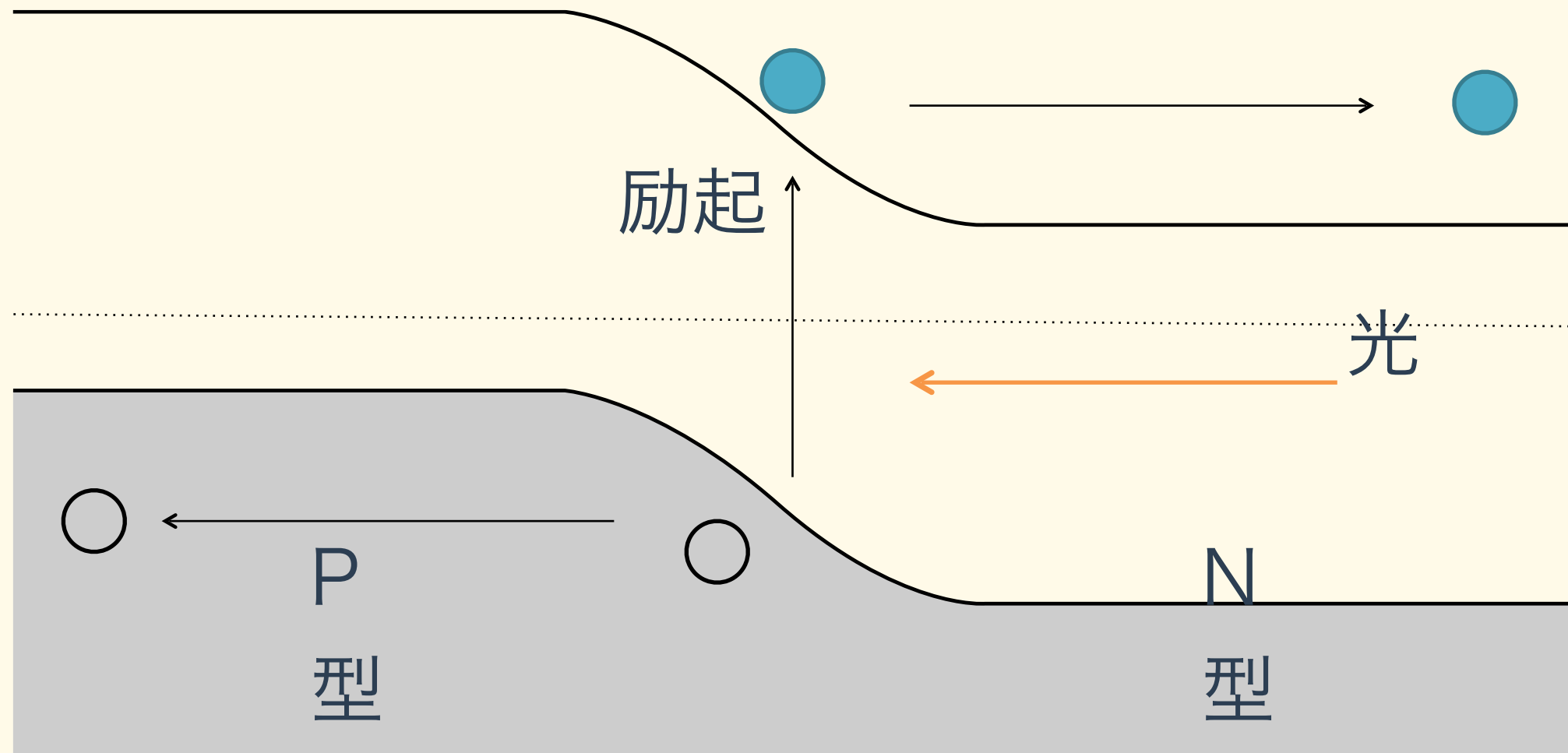
- ▶ 太陽電池
- ▶ 光センサー



ソーラーアーク



# 光電変換デバイス



電子はn側に流れる  
正孔はp側に流れる



電流が生じる

接合部近傍に光を受けると、電子が励起され  
電子-正孔対ができる。