

# 電子工学07

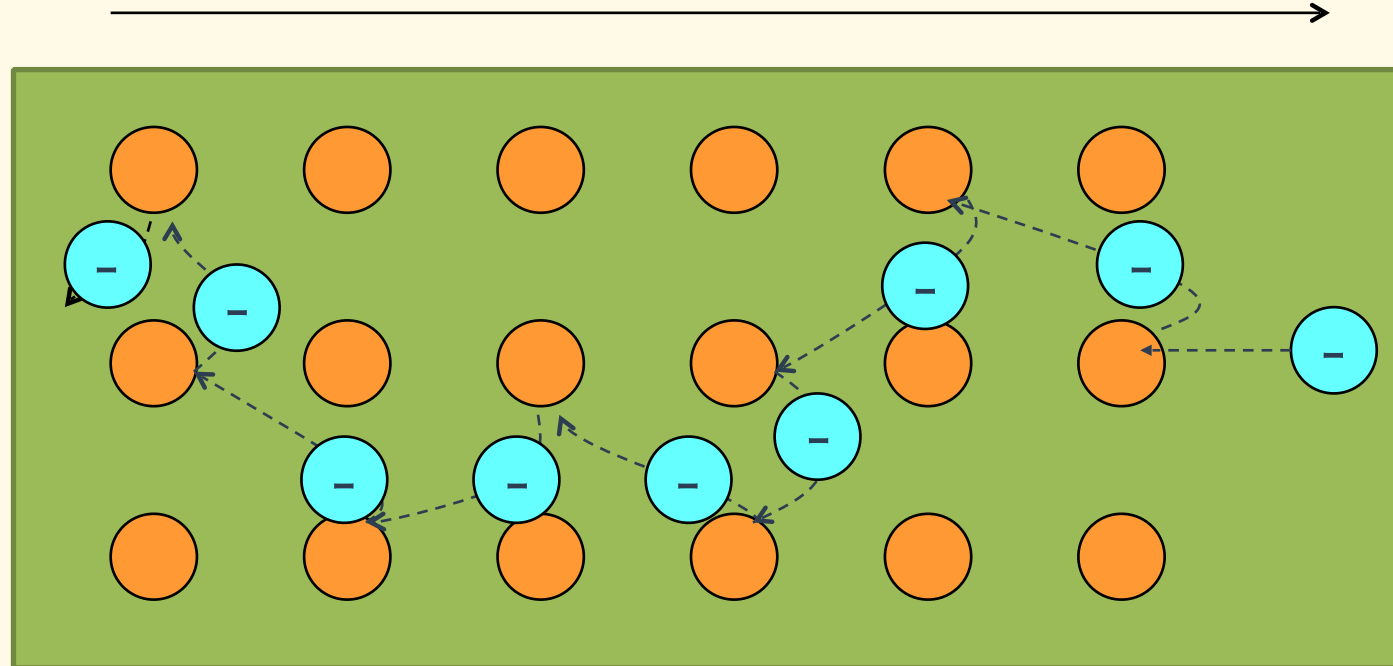
津山工業高等専門学校 情報工学科 講師  
電気通信大学 先進理工学科 協力研究員  
藤田一寿

# これからは

- ▶ 電流が流れるか流れないかが重要
- ▶ 電流が流れるか流れないかは、電子のエネルギー状態に依存する
- ▶ それを制御することでトランジスタ、LED、太陽電池などを実現している

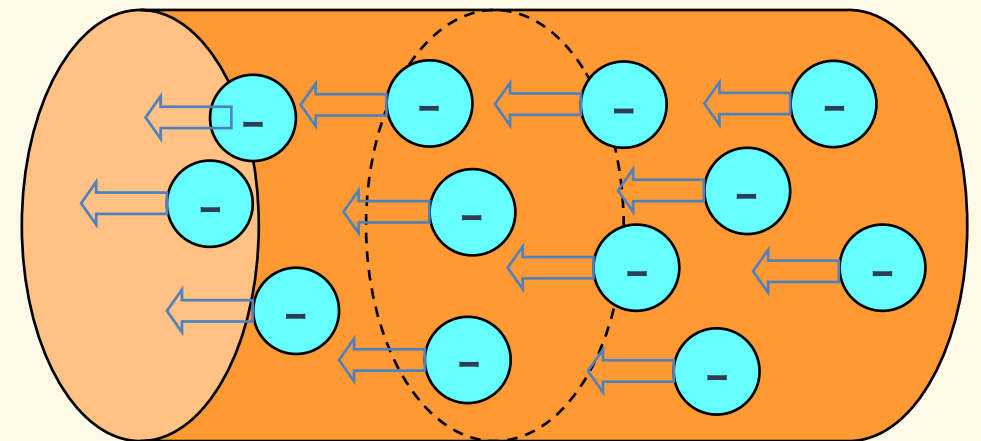
# 電流とは

電流



結晶格子

電流と電子の流れは逆



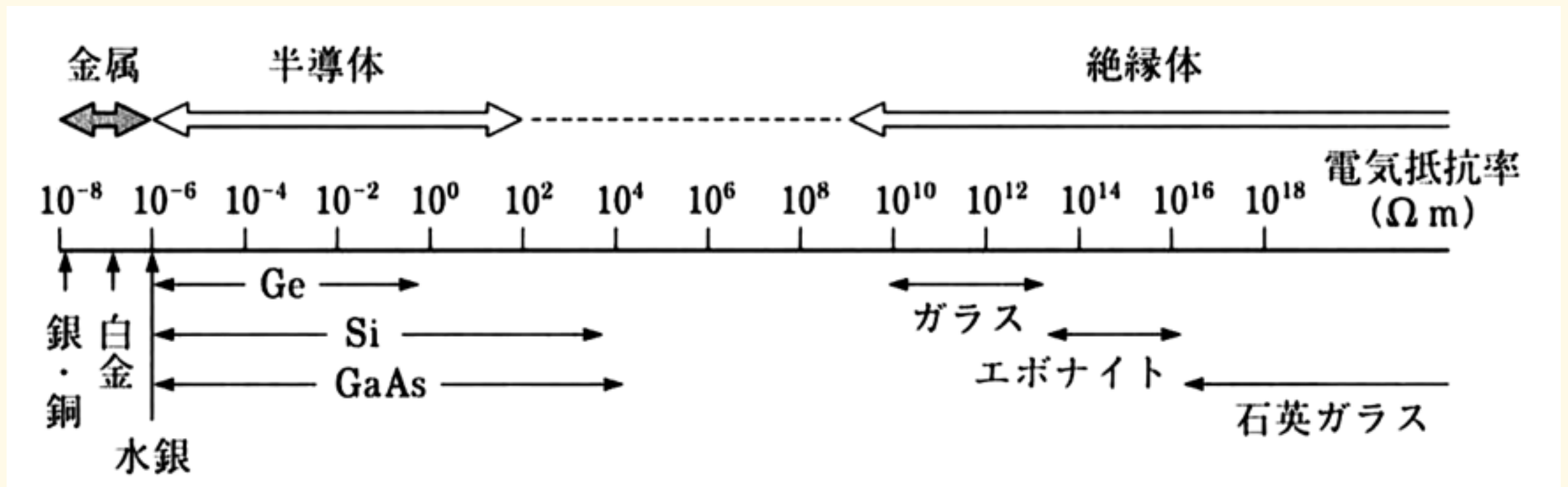
単位時間あたりの電荷

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

([https://en.wikipedia.org/wiki/File:Periodic\\_table\\_%28polyatomic%29.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Periodic_table_%28polyatomic%29.svg))

# 物質の抵抗



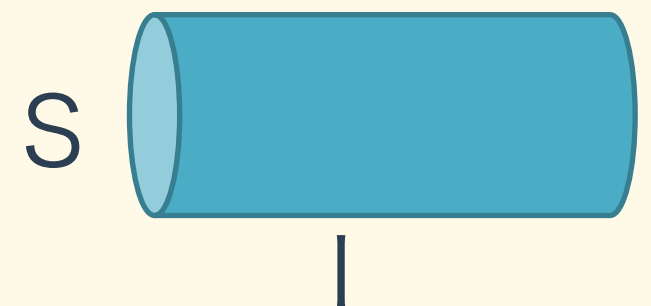
(豊田, 半導体の科学とその応用)

導体 (金属) : 電気を通す

半導体 : 導体と絶縁体の中間

絶縁体 : 電気をほとんど通さない

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{抵抗率 } \rho$$



# 金属(導体)

- ▶ 鉄、銅、アルミニウム、チタン、ナトリウム
- ▶ 特徴
  - ▶ 金属結合
  - ▶ 柔らかい
  - ▶ 電気をよく通す（電気抵抗率 $10^{-6}$ 以下）
  - ▶ 金属光沢



(田中貴金属工業)



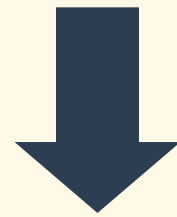
(wikipedia)



(造幣局)

# 自由電子

原子核から弱く束縛された最外殻電子



自由に動き回る（自由電子）

電気伝導  
光沢の原因



# 半導体

- ▶ シリコン、ゲルマニウム、ガリウムヒ素
- ▶ 電気抵抗は導体と絶縁体の中間
  - ▶ 電気抵抗率は $10^{-6}$ から $10^2$
- ▶ 電気抵抗が温度で変わる
  - ▶ 温度が高いほうが抵抗が低い
- ▶ 共有結合している
  - ▶ 最外殻電子を共有することで安定した個数にする

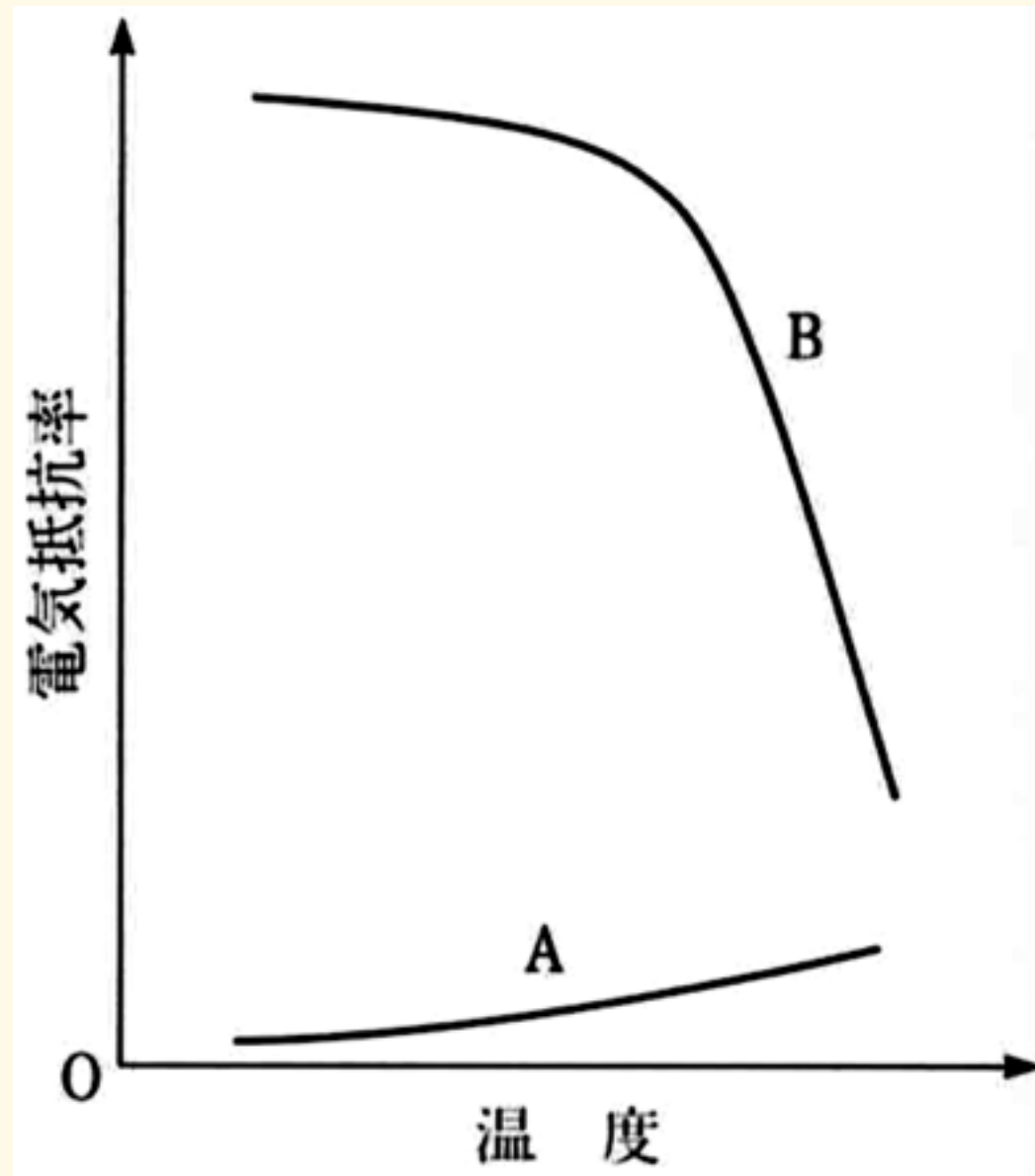
# シリコンの原石



シリコンは最も身近な元素の一つ。  
石の主要成分の一つ。

(東京大学総合博物館)

# 抵抗が温度で変わる

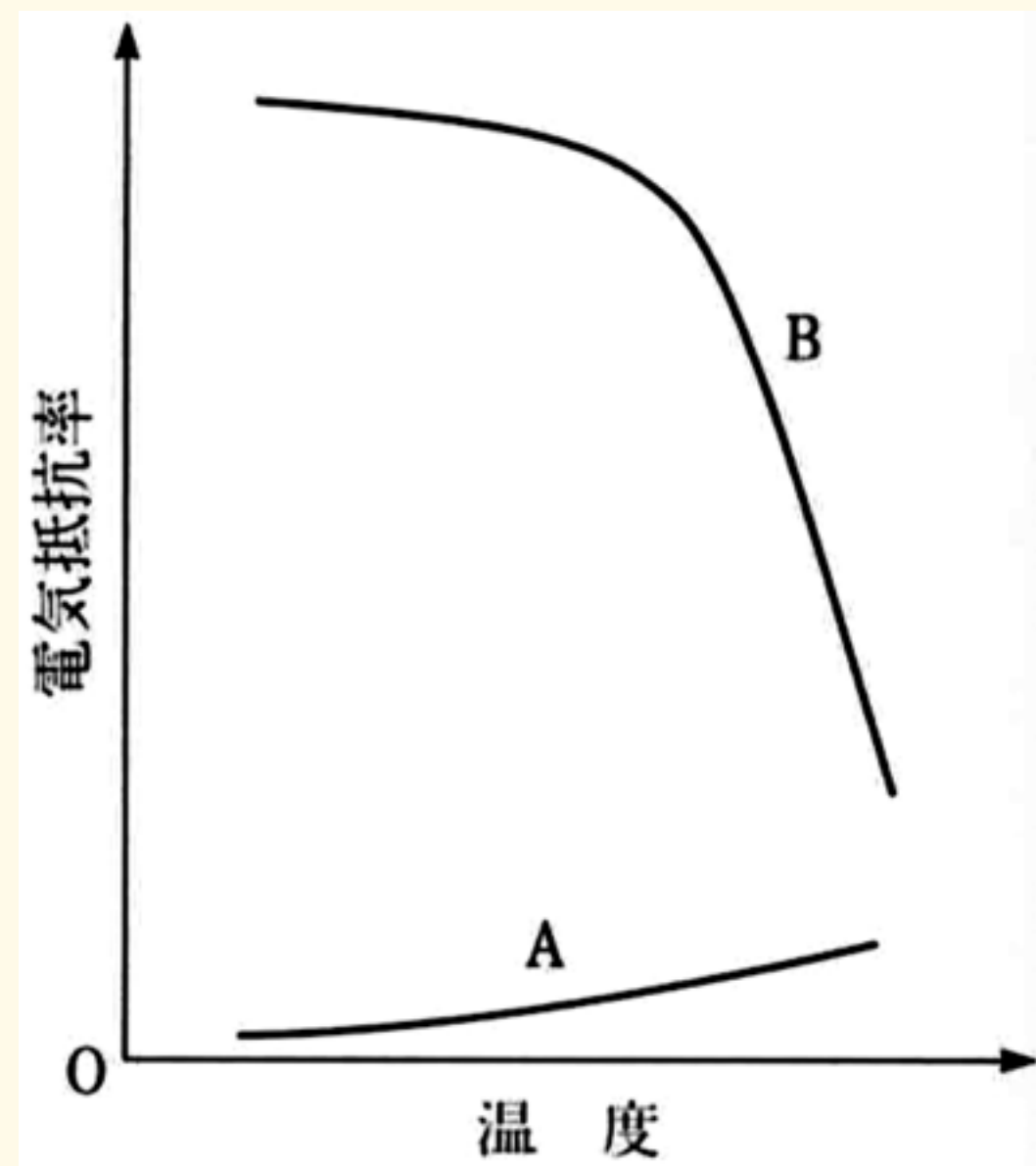


(豊田, 半導体の科学とその応用)

半導体はどっち？

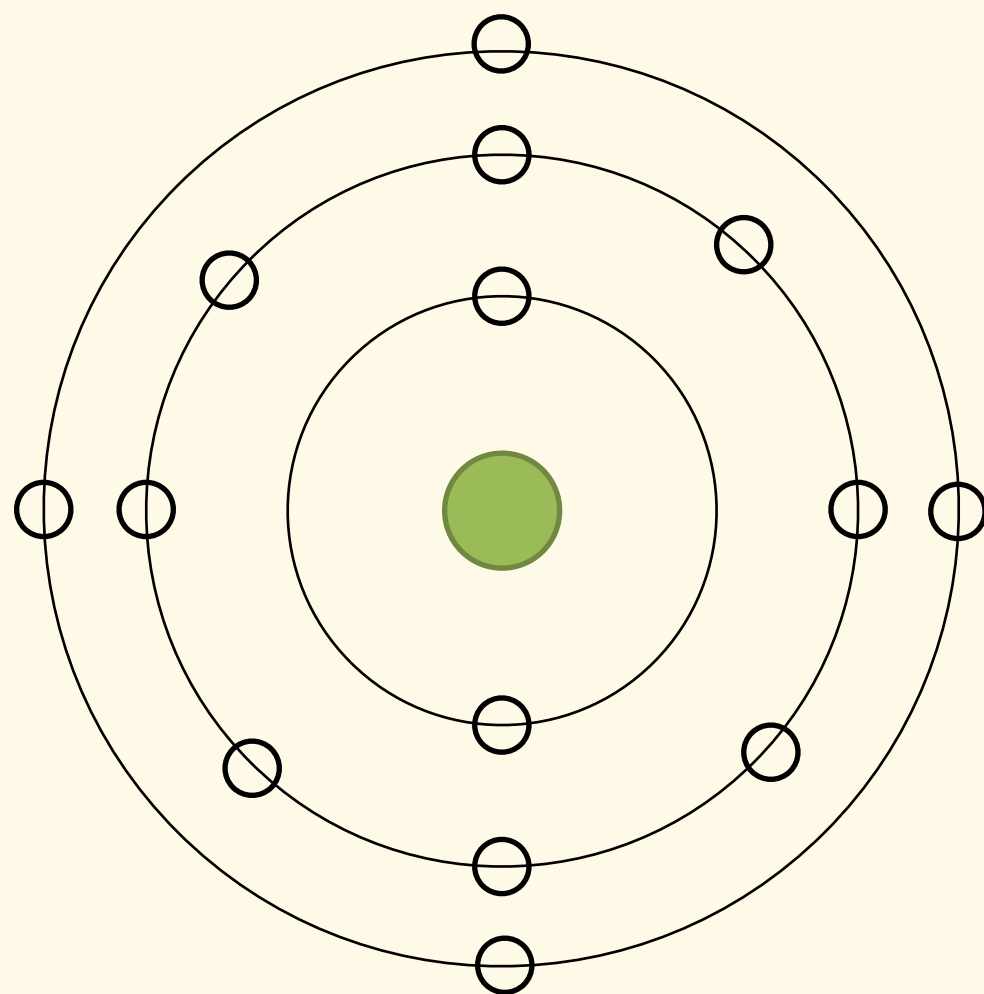
# 抵抗が温度で変わる

- ▶ 金属は温度が上がると抵抗が上がる
  - ▶ 熱振動による
- ▶ 半導体は温度が上がると抵抗は下がる
  - ▶ なぜでしょう？



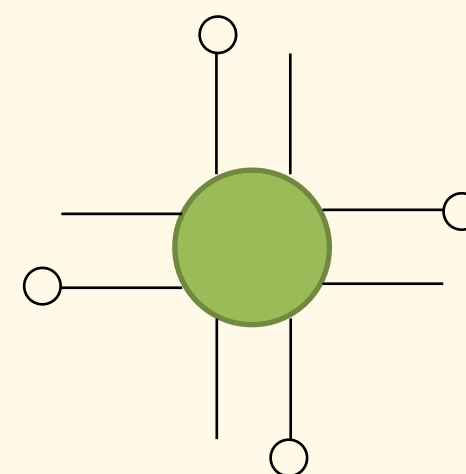
# 共有結合している

- ▶ 電子を共有することで安定な電子の個数にする

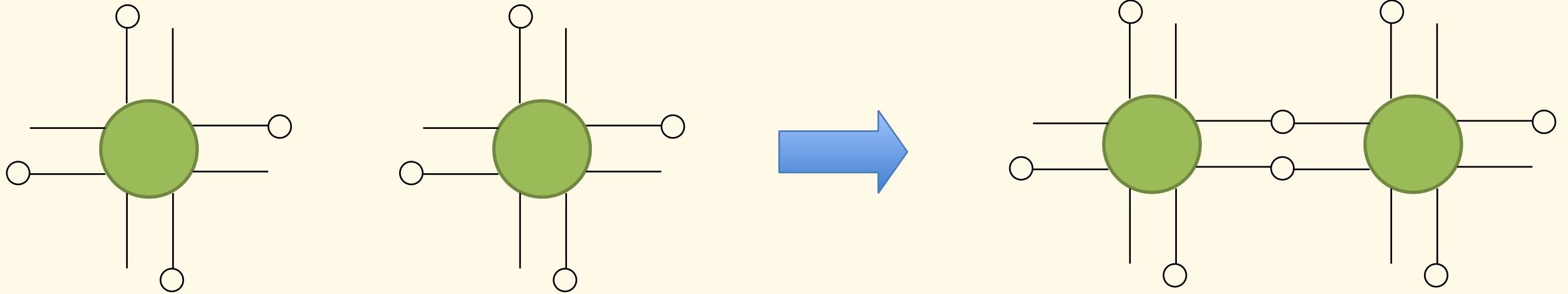


シリコン

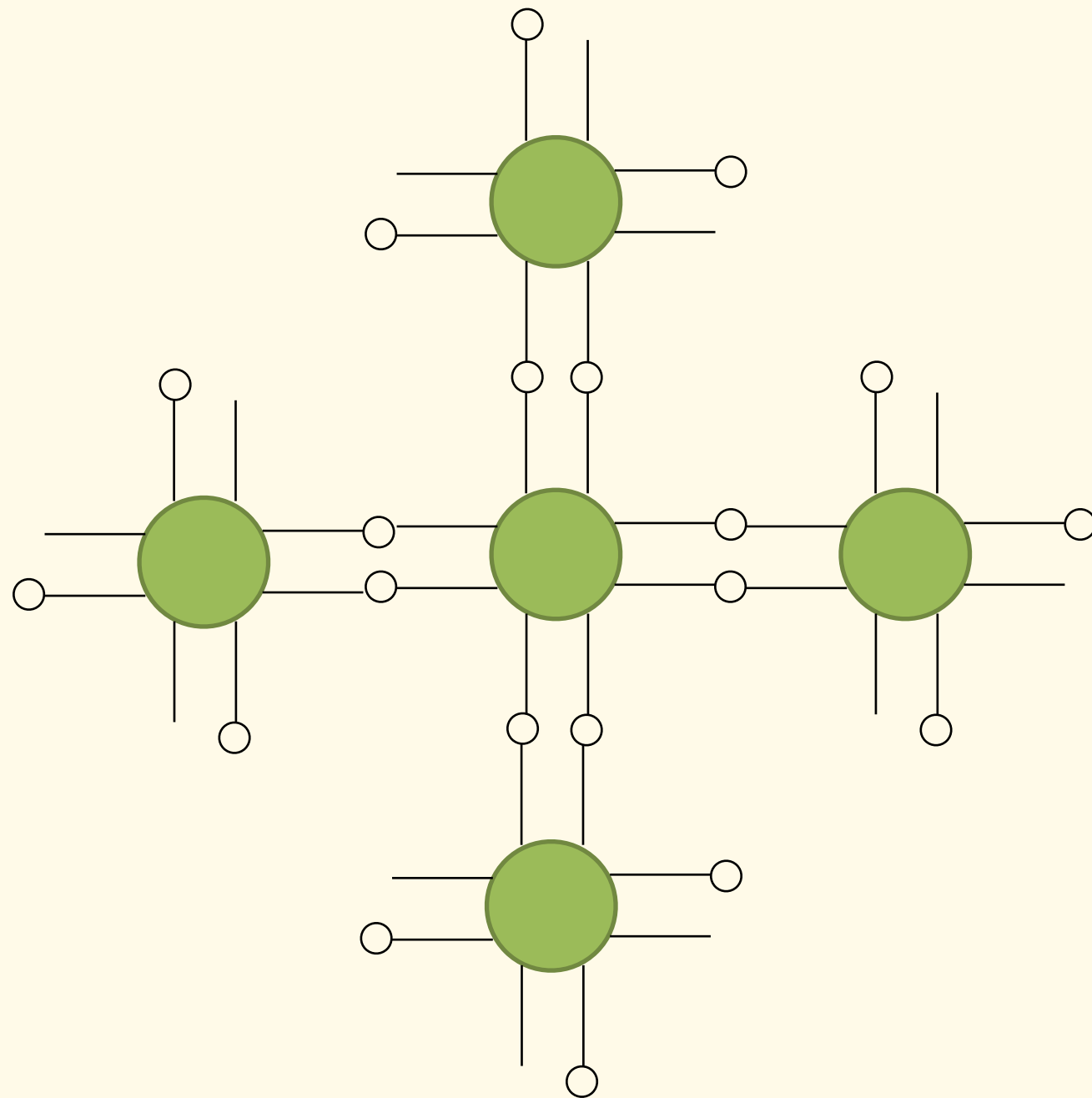
K殻	2個
L殻	8個
M殻	4個



最外殻電子だけで表してみる  
8個電子がはいる  
席があるが、電子  
は4つしか無い状  
態

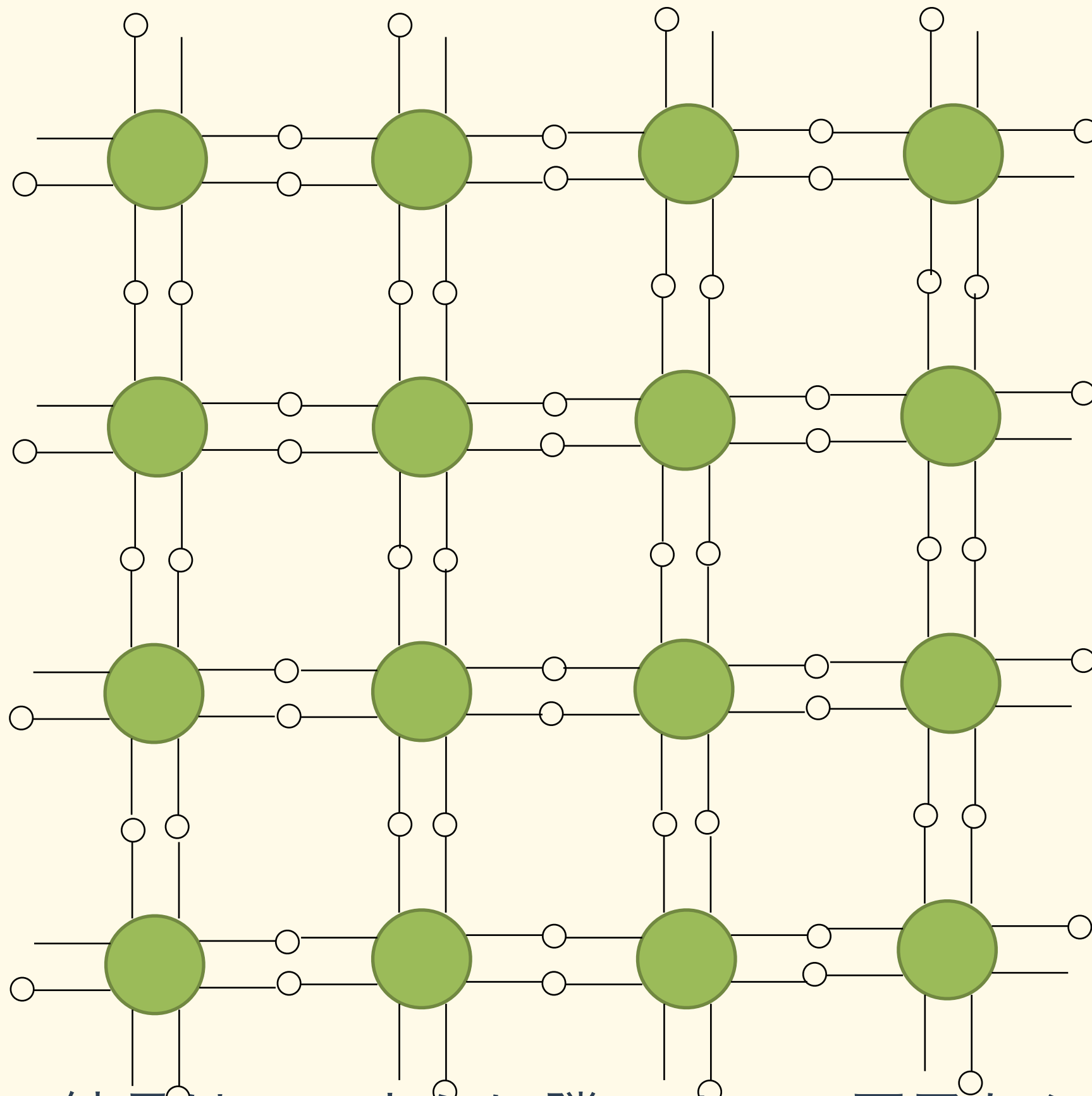


原子1つだけでは最外殻電子が足りない。  
隣から借りる



4個の隣の原子から電子を借りれば安定する。

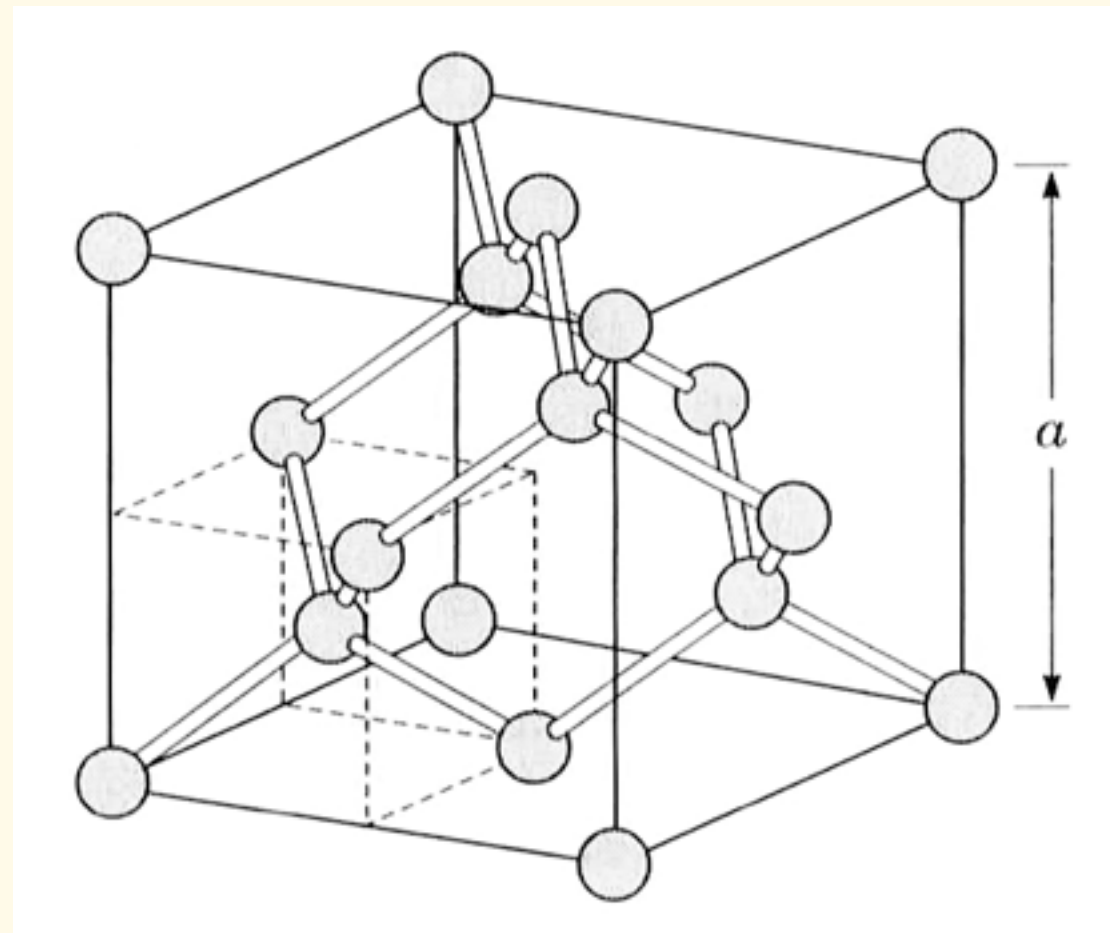




シリコンの結晶はこのような隣の4つの原子から電子を1つ借りる構造になっている。

# ダイヤモンド構造

- ▶ しかし結晶は2次元ではなく3次元の構造をしている。

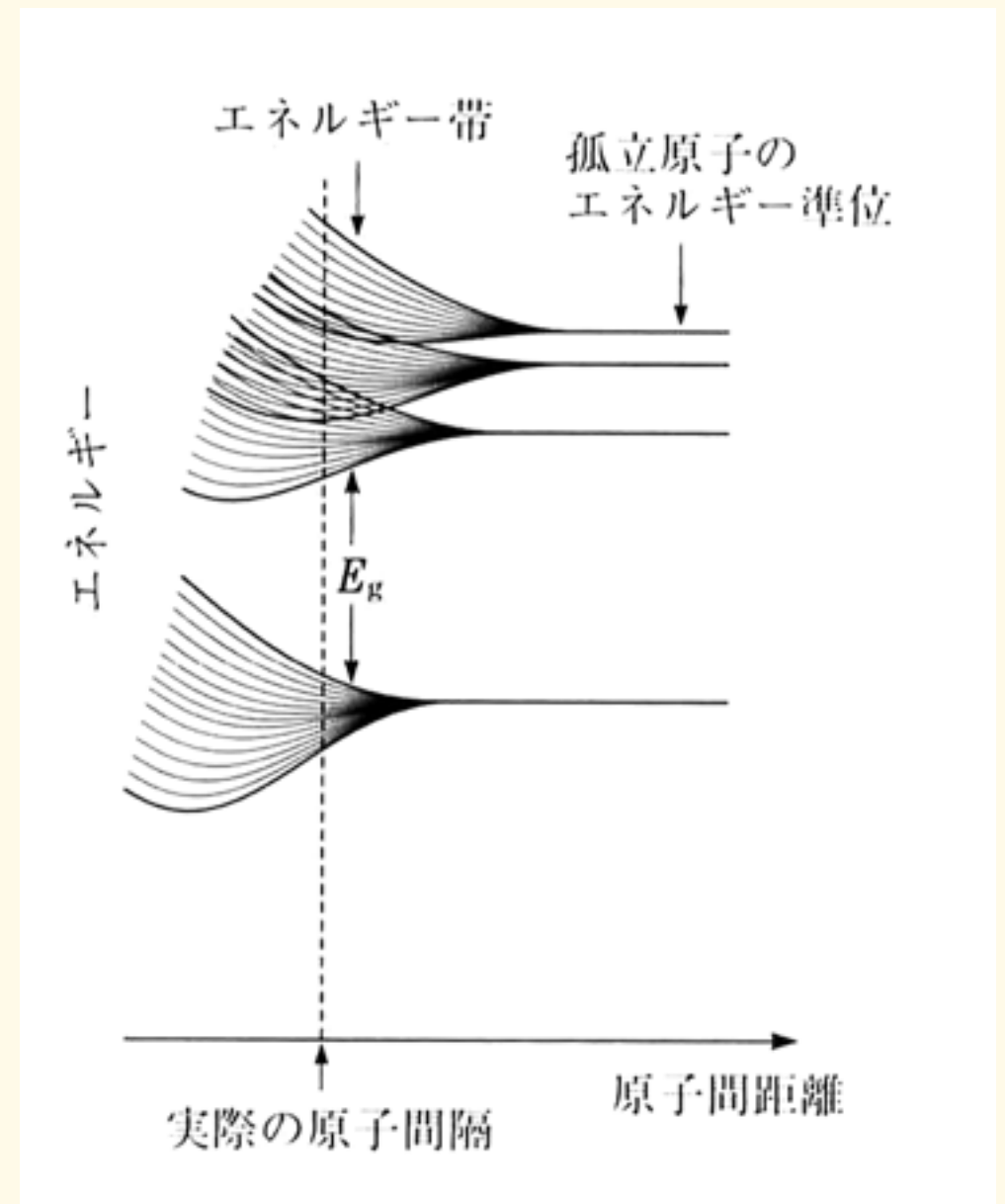


(豊田, 半導体の科学とその応用)

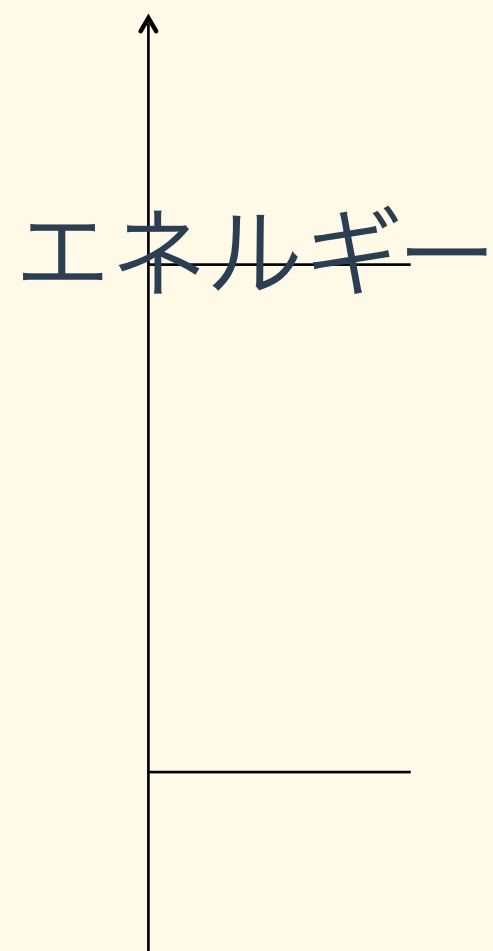
ダイヤモンドと同じ構造をしている。

# エネルギーバンド

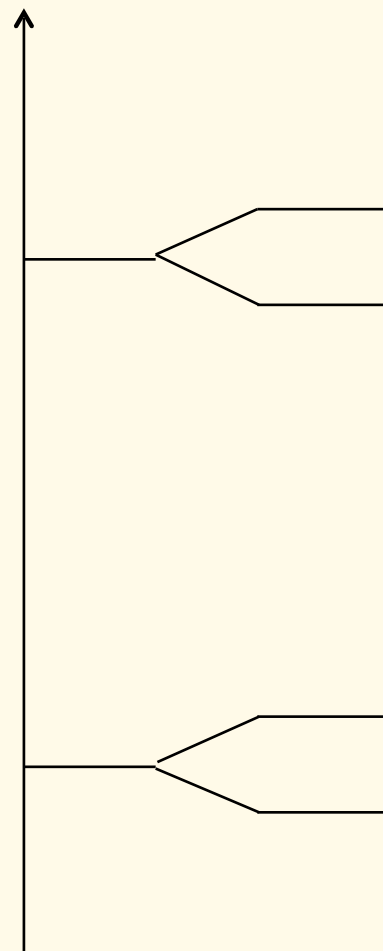
- ▶ 電子のエネルギーは量子化されている。
- ▶ 原子同士が近づくと電子の持てるエネルギーの状態が変わる
- ▶ エネルギー状態によって電子の振る舞いが変わる



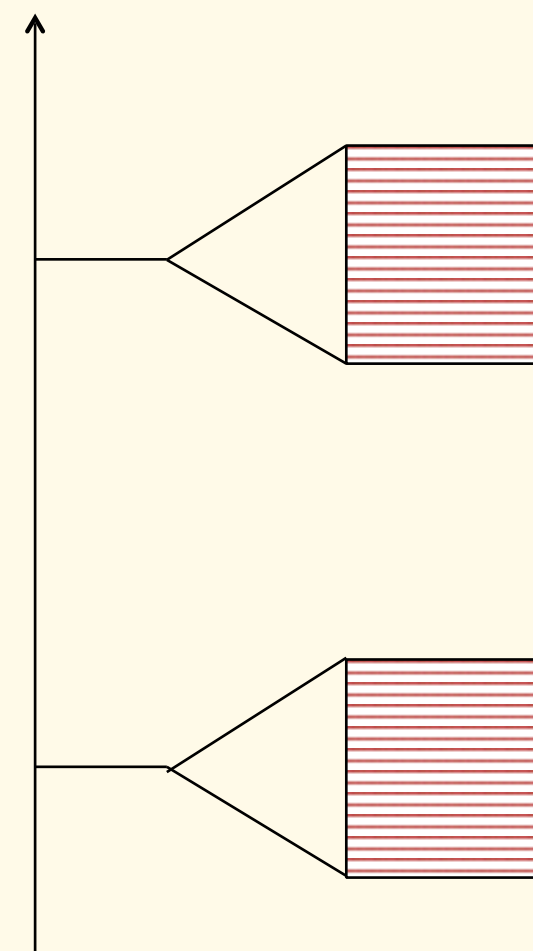
(豊田, 半導体の科学とその応用)



原子 1 個の  
場合



原子 2 個の  
場合



原子が複数個の  
場合

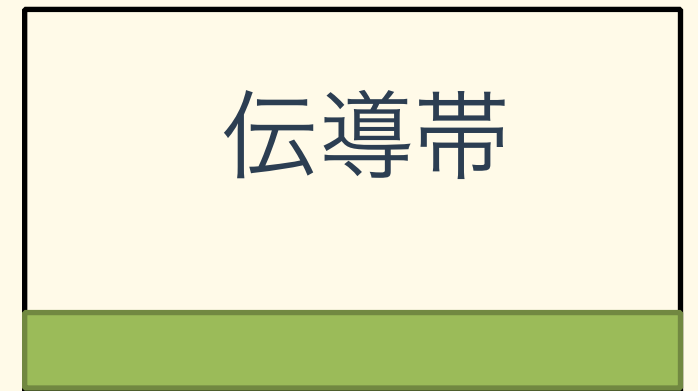
# エネルギーバンド

- ▶ 原子の数が増えると電子の取れるエネルギーの値（エネルギー準位）が分裂する。
- ▶ 我々が手にとって使っている物質の中にはものすごい数の原子がある。
- ▶ ものすごい数で分裂するので、分裂したエネルギー準位同士は非常に近く連続しているとみなせる。
- ▶ これをエネルギーバンドという。

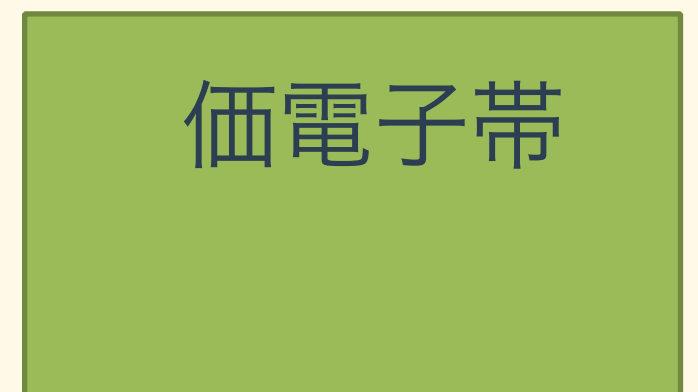
# エネルギーバンド

- ▶ 帯
  - ▶ 電子が入れるエネルギーバンド（許容帯）
- ▶ 色がついているところ
  - ▶ 電子が入っている
- ▶ 価電子帯
  - ▶ 結合に寄与する電子が所属
- ▶ 伝導帯
  - ▶ 比較的自由に動く電子が所属（電気の流れに寄与）

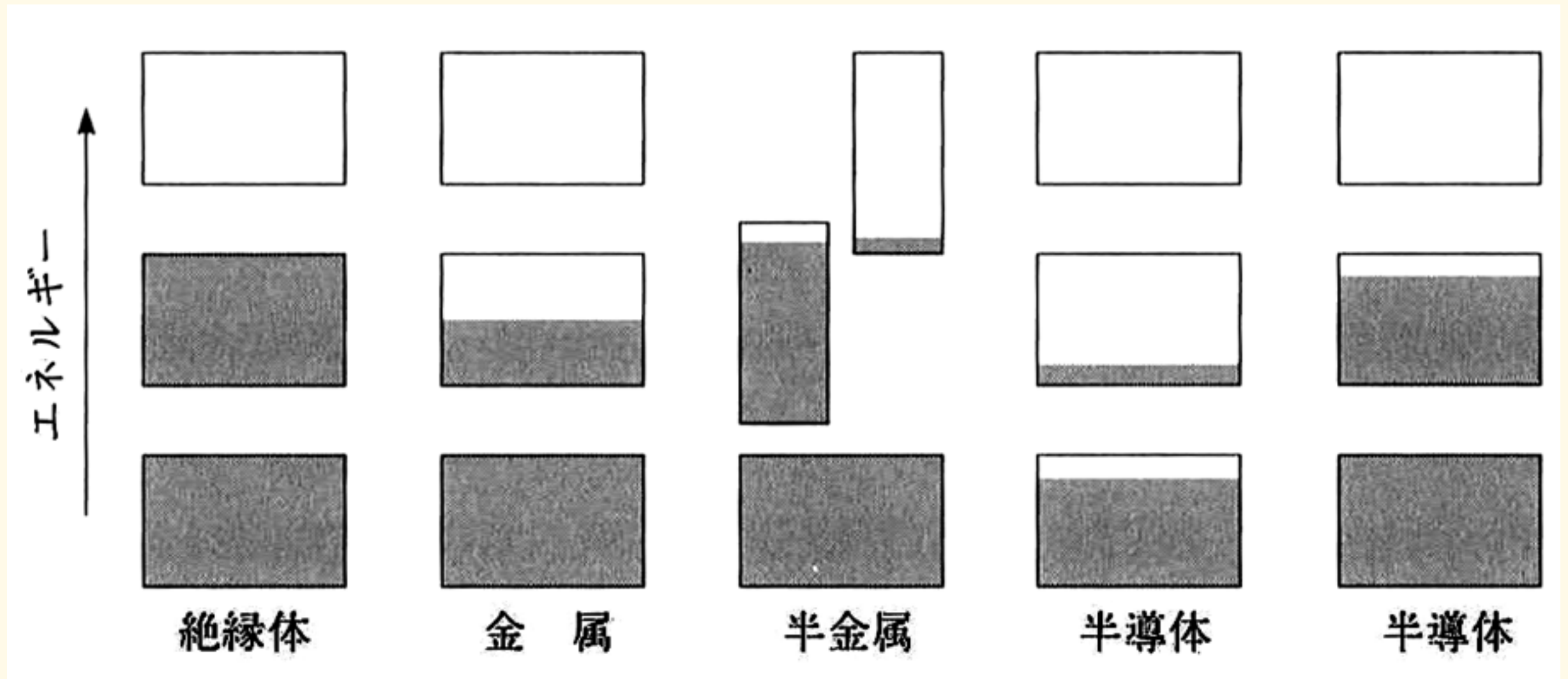
エネルギー



禁制帯、禁止帯  
(バンドギャップ)



# エネルギーバンド



(豊田, 半導体の科学とその応用)

絶縁体：自由電子が極端に少ない

半導体：熱エネルギーなどで一部の電子が伝導体にある。

導体：伝導帯に電子がある。

# フェルミ分布

- ▶ 電子があるエネルギー準位にある確率

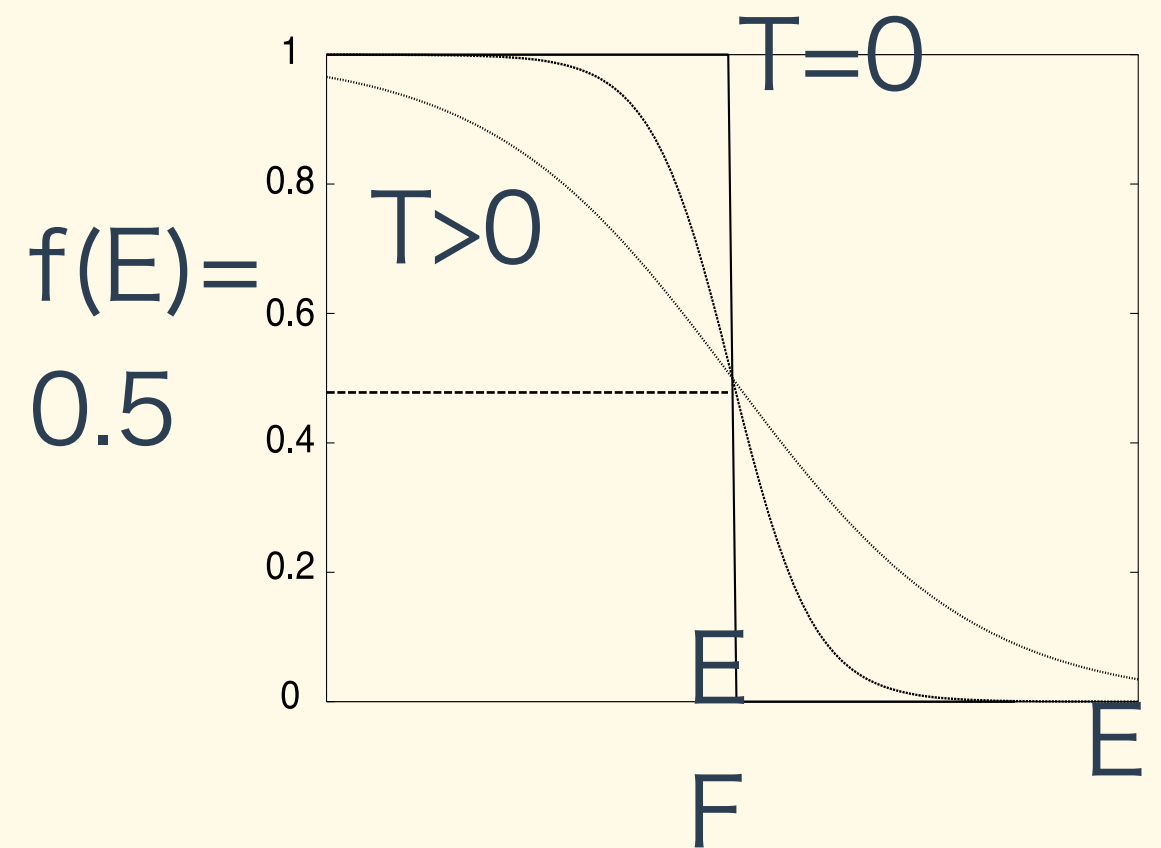
$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E-E_F}{k_B T}\right) + 1}$$

$E$  : エネルギー

$E_F$  : フェルミ準位

$k_B$  : ボルツマン定数

$T$  : 絶対温度





# フェルミ分布

