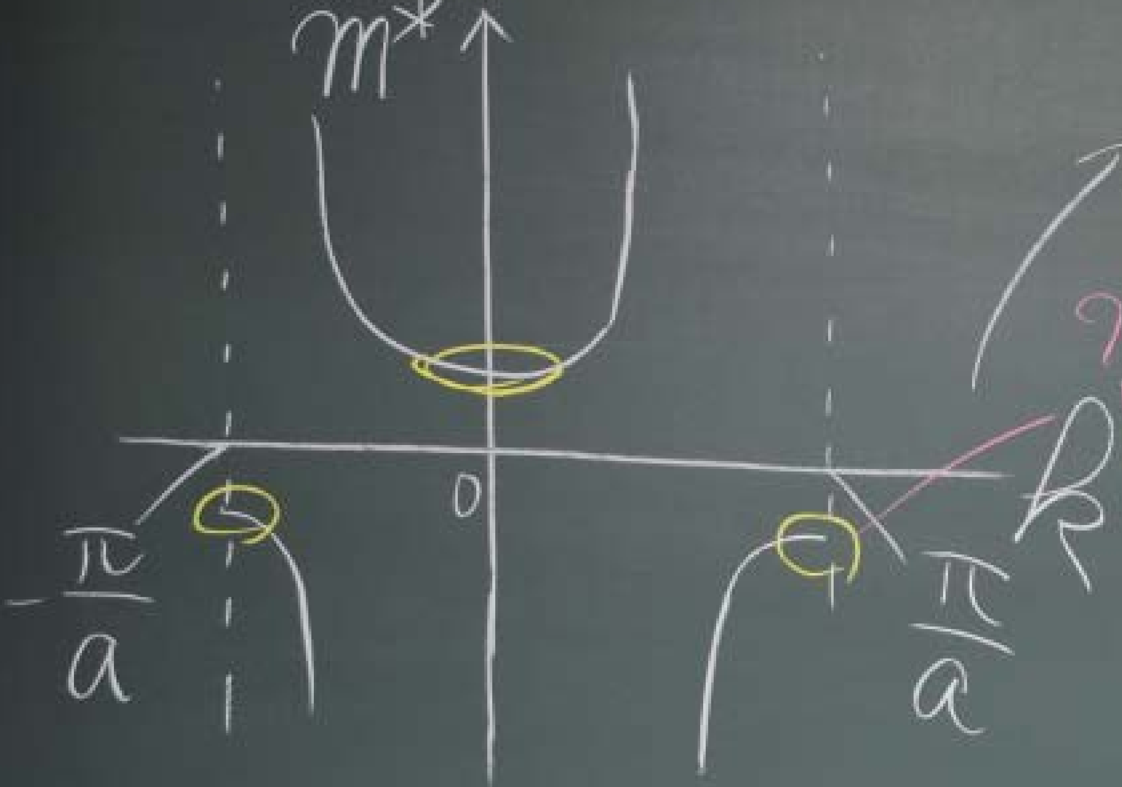
固体中の電子波

$\updownarrow$

質量 $m^* = \hbar^2 / \dfrac{d^2E}{dk^2}$, 電荷 $-e$

の粒子



$m^* < 0,\ q = -e$

の粒子

$m^{*\prime} = -m^*,\ q = +e$

(>0) の粒子

正孔(hole)

4.6 固体の電気伝導

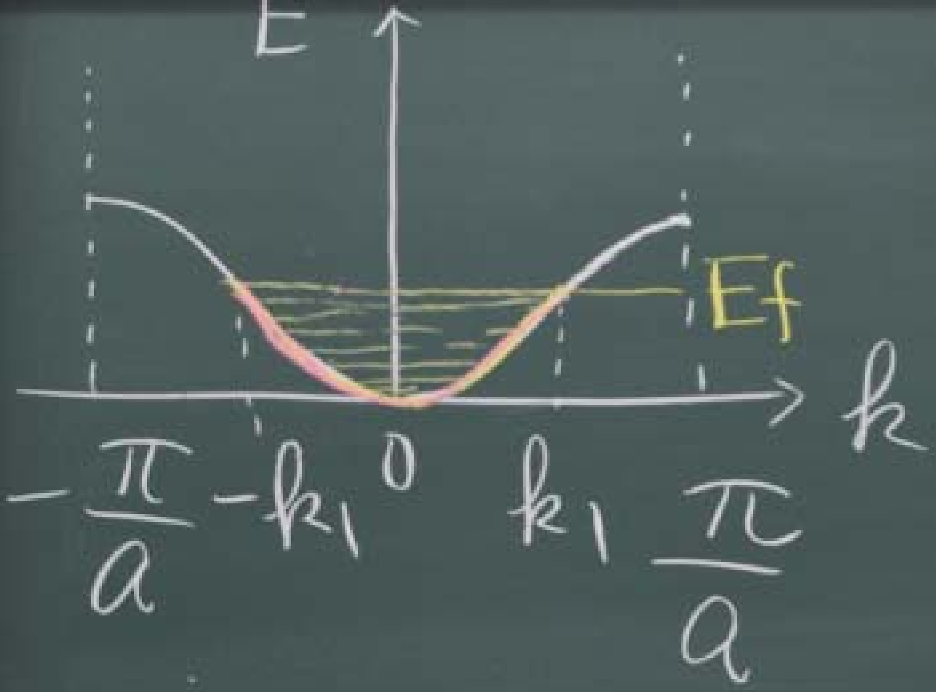
有効自由電子数 $n_{eff} = \sum f_k \frac{m}{m^*}$

移動度 $\mu = \frac{e\tau}{m^*}$

m^* 小 → μ 大

v 大

$v = \mu E$



$$n_{eff} = \sum_{k} \frac{m}{m^*}$$

$$= \sum_{k} \frac{m}{\hbar^2} \frac{d^2E}{dk^2}$$

dk

k空間における状態密度

周期的境界条件

$$e^{ik_x x} = e^{ik_x(x+L_x)}$$

$$k_x L_x = 2n_x\pi$$

$$\frac{n_x}{L_x} = \frac{1}{2\pi}k_x$$

$$\frac{dn_x}{L_x} = \frac{1}{2\pi}dk_x$$

k空間, 一次元　スピン ↑↓

状態密度 $\frac{2}{2\pi}$

二次元 $\frac{2}{(2\pi)^2}$

三次元 $\frac{2}{(2\pi)^3}$

$$n_{eff} = \frac{2}{2\pi}\int_{-k_1}^{k_1} \frac{m}{\hbar^2}\frac{d^2E}{dk^2}\,dk$$

$$= \frac{2m}{\pi\hbar^2}\int_{0}^{k_1} \frac{d^2E}{dk^2}\,dk = \frac{2m}{\pi\hbar^2}\left(\frac{dE}{dk}\right)_{k=k_1}$$

(1) $\left(\frac{dE}{dk}\right)_{k=k_1} \neq 0$ のとき $n_{eff} \neq 0 \rightarrow$ 導電性
(>0)

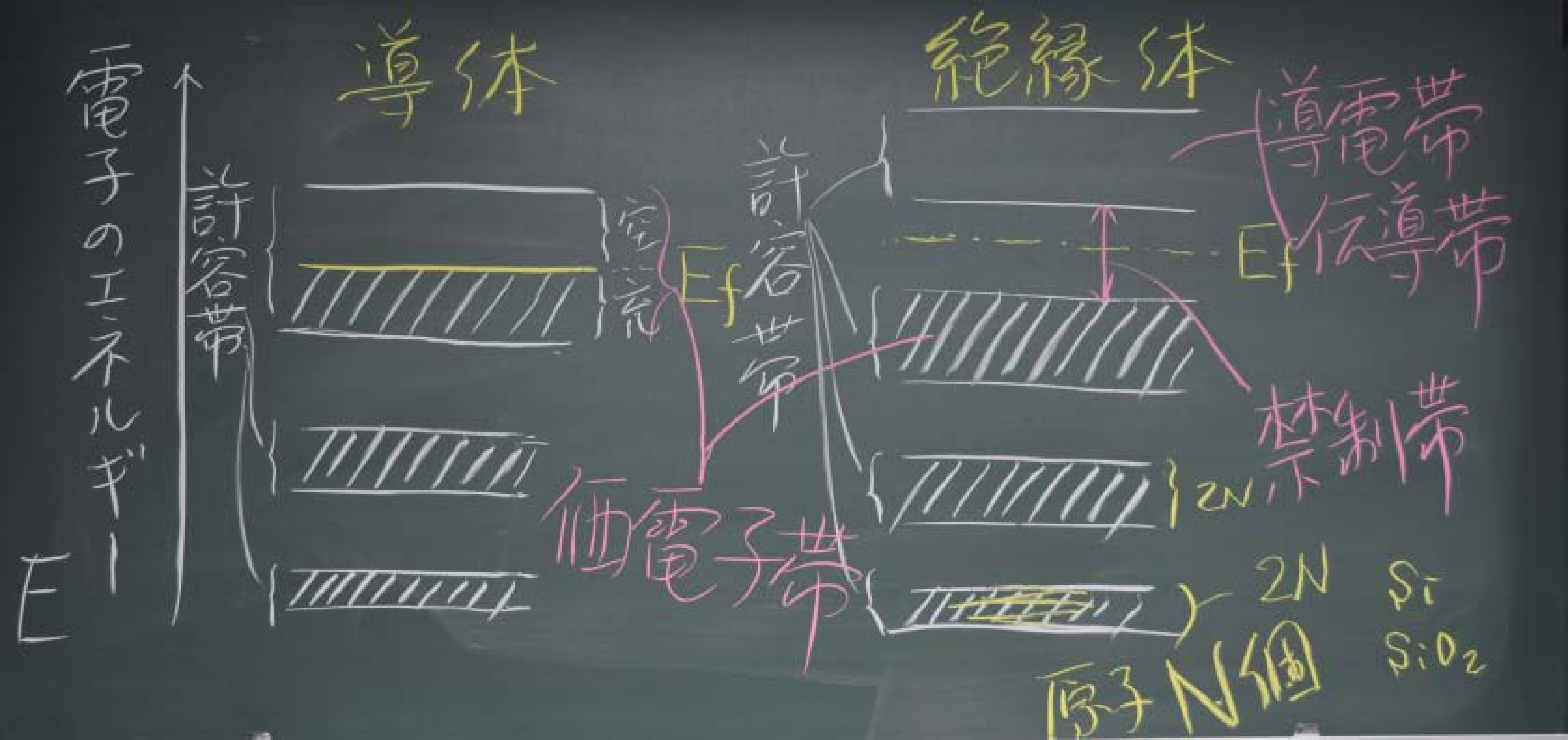
(2) $\left(\frac{dE}{dk}\right)_{k=k_1} = 0$ のとき $n_{eff} = 0 \longrightarrow$ 絶縁性

① 電子が存在しない $(k_1 = 0)$
② バンドが電子で完全に充満 $\left(k_1 = \frac{\pi}{a}\right)$

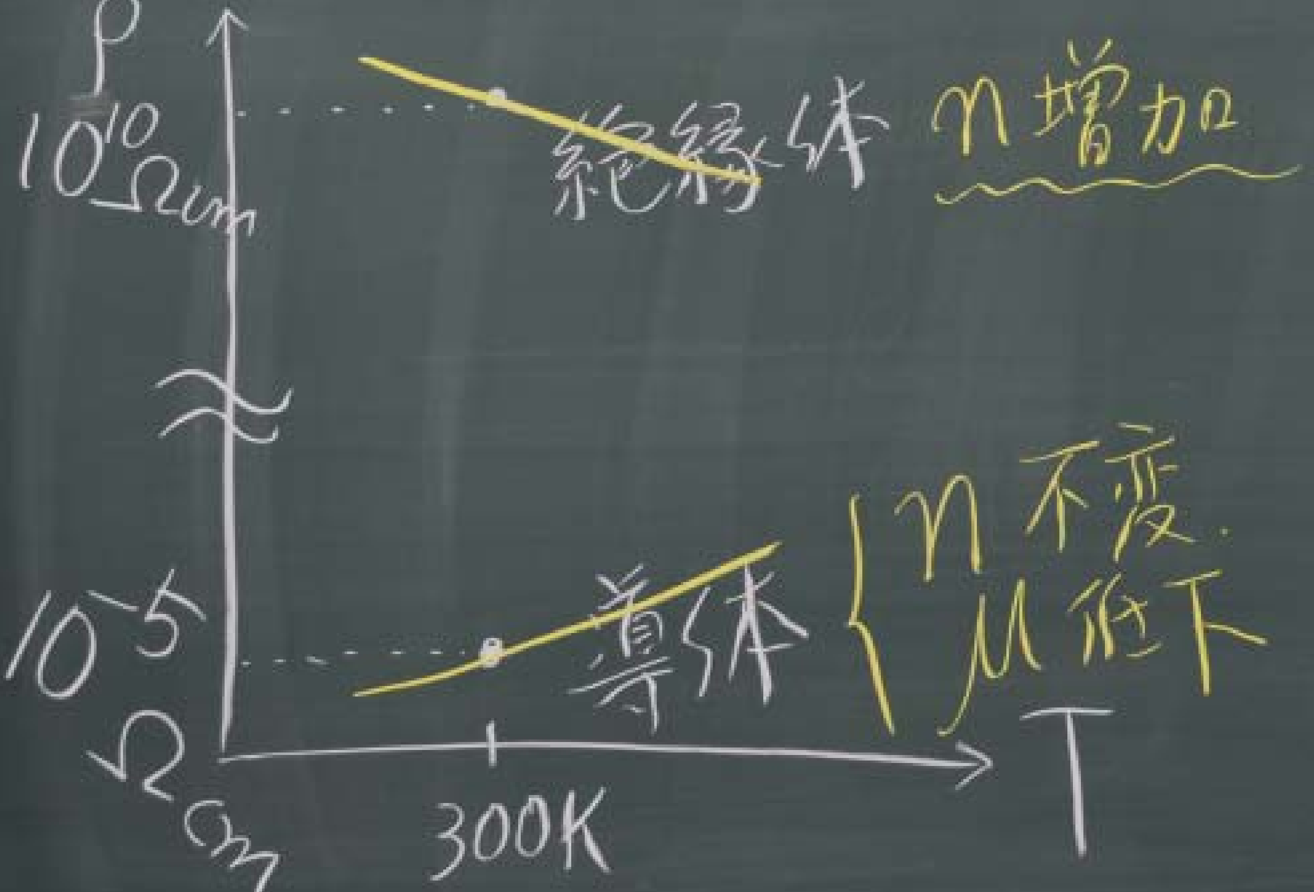
$$n_{eff} = \sum_k \frac{m}{m^*}$$

$$= \sum_k \frac{m}{\hbar^2} \frac{d^2E}{dk^2}$$

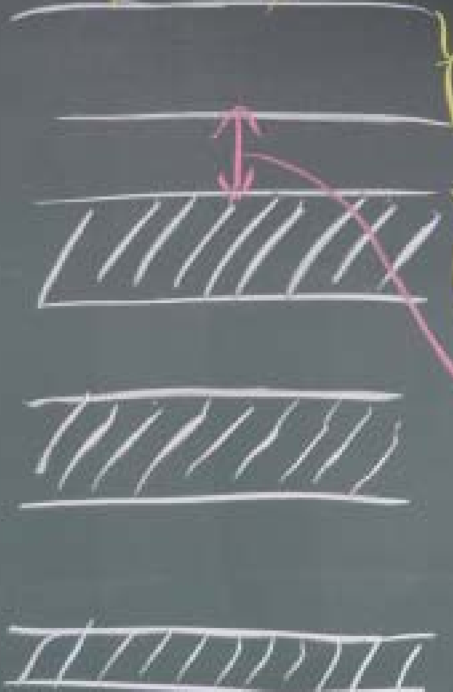
dk


電子のエネルギー
E
導体
許容帯
Ef
絶縁体
許容帯
導電帯
伝導帯
Ef
禁制帯
価電子帯
2N
2N
Si
SiO2
原子N個

導体，絶縁体の抵抗率 $\rho = \dfrac{1}{\sigma} = \dfrac{1}{en\mu}$



半導体 … 絶縁体の一種.



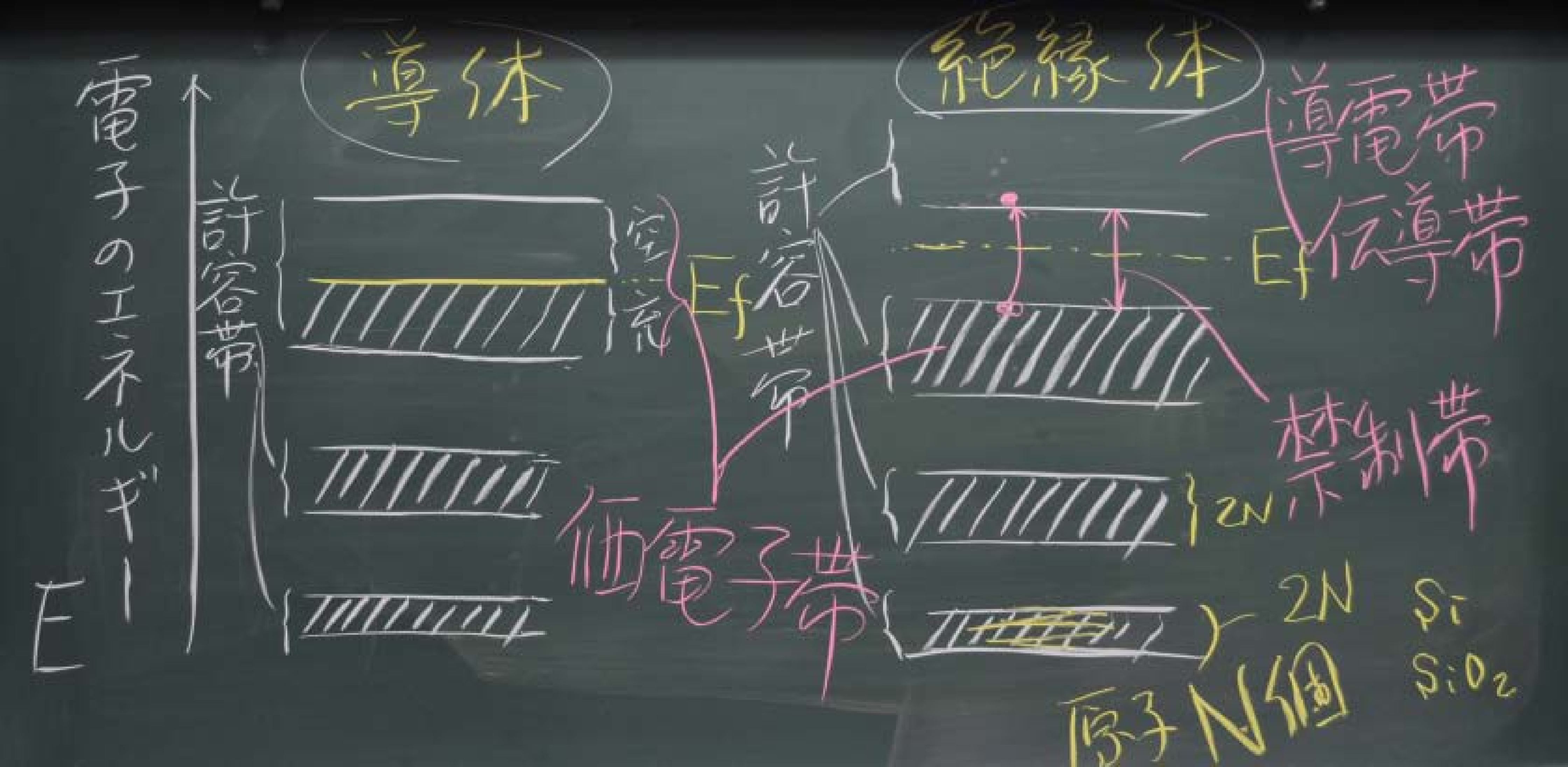
導電帯

禁制帯

価電子帯

禁制帯幅 E_g
(バンドギャップ)

$T = 0\,\mathrm{K}$では
絶縁体


電子のエネルギー
E
導体
許容帯
Ef
価電子帯
絶縁体
許容帯
導電帯
伝導帯
Ef
禁制帯
2N
2N
原子N個
Si
SiO2

Eg 大→絶縁体

Eg 小→半導体

?

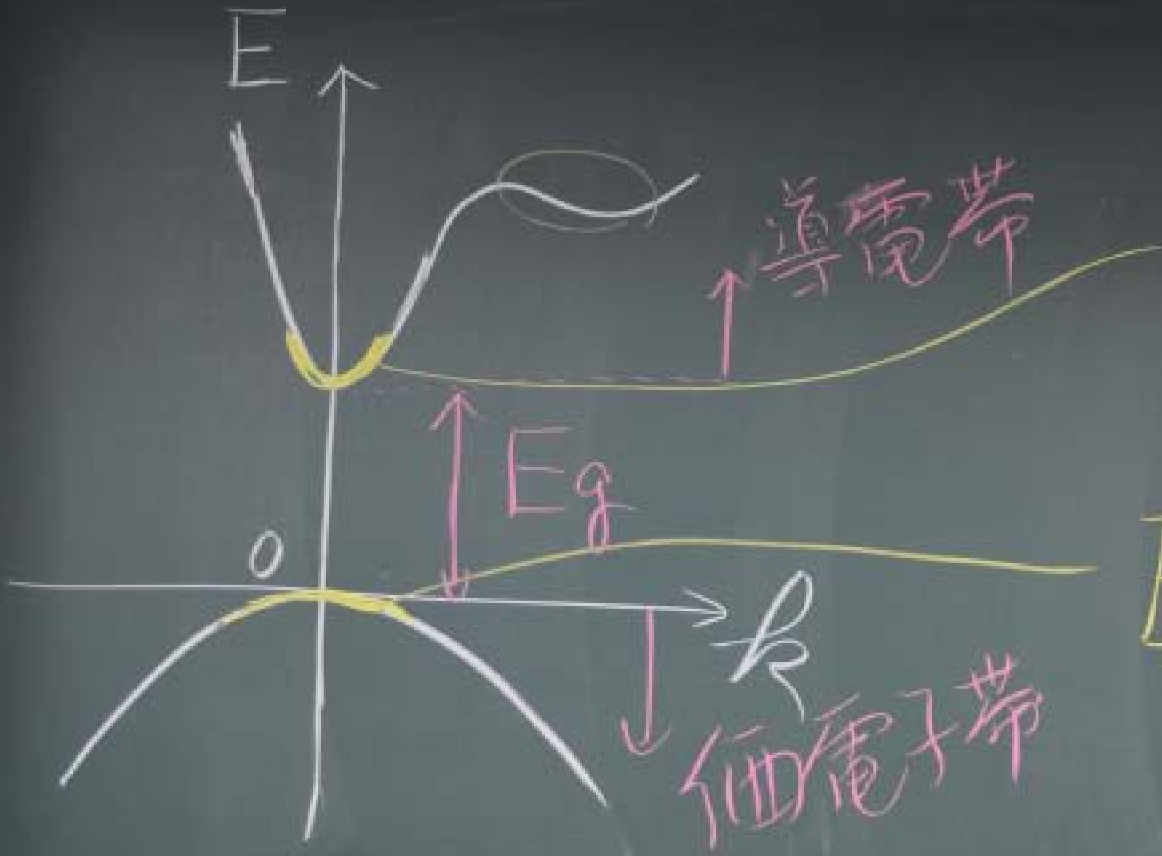
絶縁体→Eg 大

(正しい)

(Eg<3eV) ✕ → GaN Eg=3.4 eV

P 型 ,N 型の制御


導体
絶縁体, 半導体
自由電子
導電帯
Ef
0
FD
Eg
価電子帯
正孔
E－k曲線



$$E = E_g + \frac{\hbar^2}{2m_e^*}\left(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2\right)$$

$$E = -\frac{\hbar^2}{2m_h^*}\left(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2\right)$$