物性物理学 No.5

61908697 佐々木良輔

(1)

$E(k) = E_0 - \alpha - 2\gamma \cos kb$ より

$$\begin{aligned} \langle v(k) \rangle &= \frac{1}{\hbar} \frac{dE(k)}{dk} \\ &= \frac{2\gamma b}{\hbar} \sin kb \end{aligned} \tag{1}$$

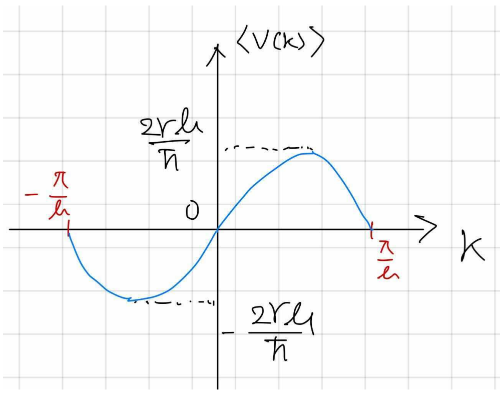

図 1　k-$\langle v(k) \rangle$ グラフ

(2)

$$\begin{aligned} \langle a(k) \rangle &= \frac{d\langle v(k) \rangle}{dt} \\ &= \frac{1}{\hbar} \frac{dk}{dt} \frac{d}{dk} \left(\frac{dE(k)}{dk} \right) \\ &= \frac{1}{\hbar} \left(-\frac{eF}{\hbar} \right) \frac{d^2E(k)}{dk^2} \\ &= -eF \cdot \frac{2\gamma b^2}{\hbar^2} \cos kb \end{aligned} \tag{2}$$

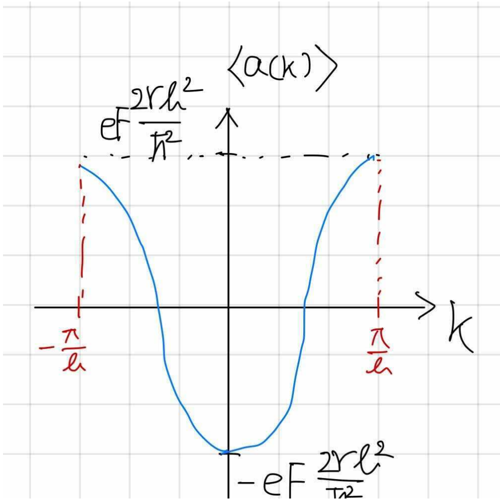

図 2　k-$\langle a(k)\rangle$ グラフ

(3)

(2) 式から

$$\langle a(k)\rangle \frac{\hbar^2}{2\gamma b^2\cos kb} = -eF \tag{3}$$

なので

$$m^*(k) = \frac{\hbar^2}{2\gamma b^2\cos kb} \tag{4}$$

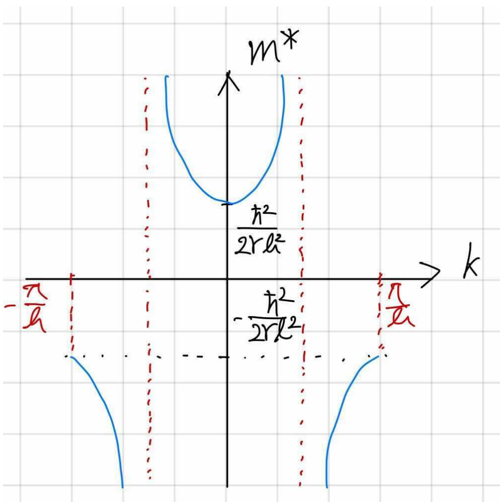

図 3　k-m^* グラフ

(4)

(1) 式を t で積分すると

$$\begin{aligned}\langle x(k)\rangle &= \int \langle v(k)\rangle \ dk \\ &= -\frac{2\gamma}{eF}\cos kb + x_0\end{aligned} \tag{5}$$

ここで $k(t) = k_0 - eFt/\hbar$ なので

$$\langle x(t)\rangle = -\frac{2\gamma}{eF}\cos\left(k_0 - \frac{eF}{\hbar}t\right) b + x_0 \tag{6}$$

となり電子が振動することがわかる．$k(t) \propto t$ であることから図 3 において m^* は時間経過と共に左へ単調に進行することがわかる．すなわち有効質量は k_0 で最小をとり, その後 t の経過と共に増加, $k(t) = \pi/b$ で正から負に転じる, すなわち運動の方向が逆転する．m^* は周期関数なので以上を繰り返すことにより, 電子が振動することがわかる．

(5)

(6) 式から振動の角振動数 ω は

$$\omega = \frac{eF}{\hbar}b \tag{7}$$

したがって周期 T は

$$T = \frac{2\pi\hbar}{eFb} \tag{8}$$

(6)

(8) 式から Bloch 振動が安定して起きるためには

$$b \geq \frac{2\pi\hbar}{eFT_{lim}} \tag{9}$$

ここで $T_{lim} \simeq 10$ fs は散乱が起きるまでの平均時間である．これを計算すると

$$b \geq 2.6 \times 10^{-6}\ \mathrm{m} \tag{10}$$

となる．

(7)

電子は原子核の熱振動によって散乱される．