

電子物性 2

後期金曜日2時限目 E6 0 3 教室
常盤和靖

モバイル出欠 認証コード 1730
登録をお願いします。

授業の進め方について

- ・講義の曜日と時間は、毎週金曜日 2 時限目です。基本的に対面（E603教室）で実施します。講義、LETUS、メールなどでアナウンスします。
- ・授業期間は、9月12日（本日：1回目）～1月9日（15回目）までです。試験日程の都合で1月23日（16回目）まで該当することもあり得ます。
- ・授業資料をLETUSに事前に載せる予定です。
- ・授業期間内に1～2回程度、レポート課題を出す予定です。レポートを出す際に指示しますが、LETUS上にアップしてもらう形式で行う予定です。

評価方法

到達度評価（70％）＋レポート（30％）

電子物性2 講義の進め方

講義内容（固体内での電子の運動を中心に考察していきます）

古典的な電子模型

有限温度の伝導電子

周期ポテンシャルの影響(ブロッホの定理)

ほぼ自由電子近似

強結合近似

フェルミ面とブリルアンゾーン

電子輸送現象（ボルツマン方程式）

第1章 金属の伝導現象（ドゥルーデ理論）

電気伝導の古典的な扱い . . . ドゥルーデモデル
気体分子運動論を固体中の
電気伝導に応用
電荷は剛体球として取り
扱われる

固体中の電気伝導を担うもの

キャリア . . . $\left\{ \begin{array}{ll} \text{負} & q = -e (e > 0) : \text{電子} \\ \text{正} & q = +e : \text{ホール (正孔)} \end{array} \right.$

電気伝導率

電荷 q のキャリアが電場 \mathbf{E} で加速

キャリアの有効質量 m^* 、速度 \mathbf{v}_D
運動方程式

$$m^* \left(\frac{d\mathbf{v}_D}{dt} + \frac{1}{\tau} \mathbf{v}_D \right) = q\mathbf{E} \quad (1.1)$$

単位時間に散乱を受ける回数

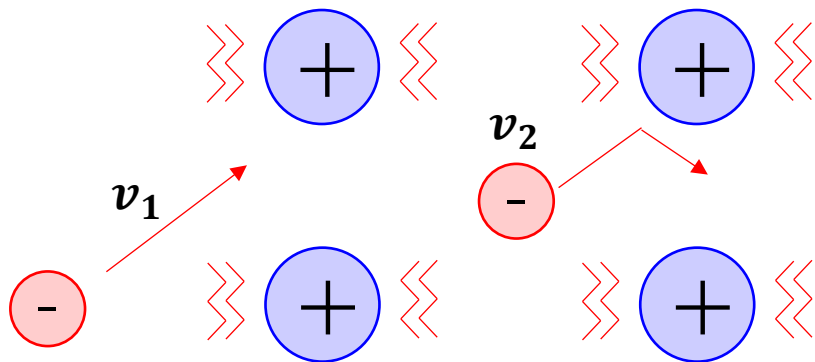
散乱時間（緩和時間）：電荷の衝突と衝突の間の平均時間

\mathbf{v}_D とはどのような速度なのか？

固体（結晶）中の電子→

- ・ 原子の平衡位置における熱振動(フォノン)
- ・ 不純物・欠陥

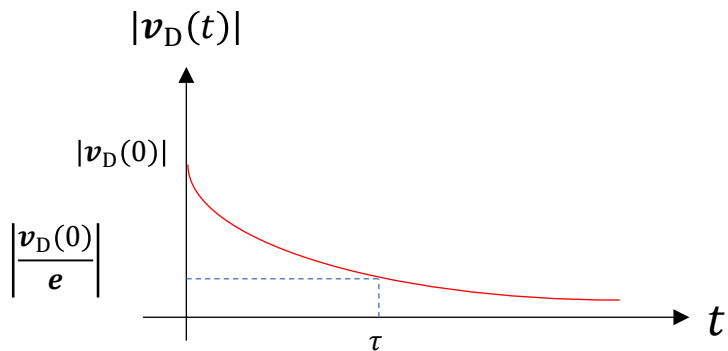
これらに散乱を受ける



(1.1)の解は

$\mathbf{E} = \mathbf{0}$ の場合

$$\mathbf{v}_D(t) = \mathbf{v}_D(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$



結晶中では多くのキャリアがいろいろな速度で運動している→全体では平均速度 \mathbf{v}_D を見ている。

$$\mathbf{v}_D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{v}_i \quad (1.2)$$

$\mathbf{E} \neq \mathbf{0}$ の場合

$$\mathbf{v}_D(t) = \mathbf{v}_D(0) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \frac{q\tau}{m^*} \mathbf{E} \quad (1.3)$$

十分に時間($t \rightarrow \infty$)が経つと

$$\mathbf{v}_D = \frac{q\tau}{m^*} \mathbf{E}$$

$$\mathbf{v}_D = \frac{q\tau}{m^*} \mathbf{E} \quad (1.4)$$

ドリフト速度

ドリフト速度 \boldsymbol{v}_D に対する定常電流密度 \boldsymbol{j}

$$\boldsymbol{j} = nq\boldsymbol{v}_D = nq \times \frac{q\tau}{m^*} \boldsymbol{E} = \frac{nq^2\tau}{m^*} \boldsymbol{E} \quad (1.5)$$

また、 \boldsymbol{v}_D と \boldsymbol{E} を結ぶ比例係数を
 μ （移動度or ドリフト移動度）とよび

$$\boldsymbol{v}_D = \mu \boldsymbol{E} = \frac{q\tau}{m^*} \boldsymbol{E} \quad (1.9)$$

電気伝導率を σ とすると

$$\boldsymbol{j} = \sigma \boldsymbol{E} \quad (1.6) \quad \text{より} \quad \sigma = \frac{nq^2\tau}{m^*} \quad (1.7)$$

$$\text{より} \quad \mu = \frac{q\tau}{m^*} \quad (1.10)$$

$$\text{あるいは電気抵抗率} \rho = \frac{1}{\sigma} \text{を用いて} \quad \rho = \frac{m^*}{nq^2\tau} \quad (1.8)$$

$$\sigma = nq\mu \quad (1.11) \quad \text{と書ける}$$

半導体のように電子とホールが同時に共存する場合

電子 n_e （単位体積あたりの電子密度） m_e^* （有効質量） τ_e （緩和時間）

ホール n_h （単位体積あたりのホール密度） m_h^* （有効質量） τ_h （緩和時間）

$$\sigma = \frac{n_e e^2 \tau_e}{m_e^*} + \frac{n_h e^2 \tau_h}{m_h^*} = e(n_e \mu_e + n_h \mu_h) \quad (e > 0 \text{ として } q_e = -e, q_h = +e) \quad (1.12)$$