

電子物性の基礎

垣谷公徳 (17号館3階)
<http://sstxp.ee.ous.ac.jp/>

参考書



阿部 正紀
 基礎電子物性工学
 量子力学の基本と応用



斉藤 博他
 入門 固体物性
 基礎からデバイスまで



チャールズ キットル
 固体物理学入門

電子・原子・分子・結晶

- あらゆる物質は原子の集合で構成される
- 分子：1つ以上の原子の集まり
- 結晶：規則正しい分子（原子）の配列
 ⇔ 気体 / 液体 / 非晶質（アモルファス）
- 物質の多様な性質

原子間の結合や集合の仕方の多様性に由来

原子の種類

<http://www.ptable.com/>

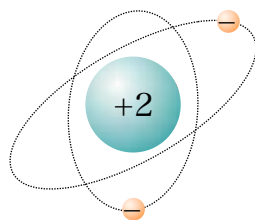
元素の周期表																	
1															2		
H															He		
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39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

原子の構造

- 原子

- 電子
- 原子核
- 陽子
- 中性子

He(ヘリウム)原子



原子の構造

粒子		電気量 [As]	電荷	質量 [kg]	質量比
原子核	陽子	$+1.602 \times 10^{-19}$	+e	1.673×10^{-27}	1840
	中性子	0	0	1.675×10^{-27}	1840
電子		-1.602×10^{-19}	-e	9.109×10^{-31}	1

e: 電荷素量

- 電気的中性原子の陽子数と電子数は等しい
- 原子の質量は陽子と中性子でほぼ決まる

原子の構造

- 元素記号：C
- 原子番号
 - 陽子の数
- イオン
 - 陽イオン：陽子数 > 電子数 C^+, C^{2+}
 - 陰イオン：陽子数 < 電子数 C^-, C^{2-}

元素名	炭素	ケイ素
元素記号	C	Si
陽子数	6	14
中性子数	6	14
質量数	12.01	28.09

7

物質の性質

- 金属（導体）／半導体／絶縁体
- 強磁性体／常磁性体／非磁性体
- 透明／不透明，屈折率，反射率
- 弾性／塑性／展性
- 気体／液体／固体（融点，沸点）

8

物質の性質

- 物質の性質は、主に原子の配列（並び方）と電子の運動状態により、決定される
- 電子の運動状態
 - 運動エネルギー
 - 位置エネルギー（ポテンシャル）
 - 運動量
 - 角運動量

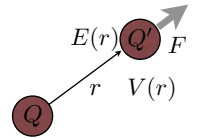
9

電荷と電場

- 電荷(Q)から距離 r の位置での電場(E) $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$
- 距離 r の位置の電荷(Q')に働く力(F) $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ'}{r^2}$
- 電荷(Q)に対するポテンシャル($V(r)$) $V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{QQ'}{r}$
- 原子番号 Z の原子核による電子に対するポテンシャル

$$Q = +Ze \quad V(r) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}$$

$$Q' = -e$$



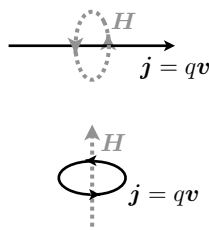
10

電流と磁場

- 電荷の運動→電流
- 電流→磁場
- 磁場中の電荷にかかる力（ローレンツ力）

$$F = qv \times B$$

$$B = \mu H$$



11

電子物性

- 電磁気学（電磁界理論）
- 量子力学
- 統計力学（量子統計）

電子の運動状態



物質の性質

12

古典論の限界

- プランクの黒体輻射
- 光電効果
- コンプトン散乱
- 電子線回折
- 水素原子模型
- 固体の比熱

全てのものは粒子と波動の両方の性質を併せ持つ

13

波動の基本的な性質

- 波動関数
 - 波動を担う時間的・空間的に変化する量

$$\varphi(x, t) = A \sin\left(2\pi \frac{x}{\lambda} - 2\pi \frac{t}{T}\right)$$

- 波長 (山から山の距離) : λ
- 周期 (元に戻る時間) : T
- 振幅 (波の大きさ) : A

14

波動の基本的な性質

$$\varphi(x, t) = A \sin\left(2\pi \frac{x}{\lambda} - 2\pi \frac{t}{T}\right)$$

- 波数: 長さ 2π の中に含まれる山(谷)の数

$$k \equiv \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\varphi(x, t) = A \sin\left(kx - 2\pi \frac{t}{T}\right)$$

15

波動の基本的な性質

$$\varphi(x, t) = A \sin\left(2\pi \frac{x}{\lambda} - 2\pi \frac{t}{T}\right)$$

- 周波数 (振動数): 単位時間当たりの振動数

$$\nu = \frac{1}{T}$$

- 角振動数

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

$$\varphi(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

16

波動の基本的な性質

$$\varphi(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

- 三角関数の複素数表現

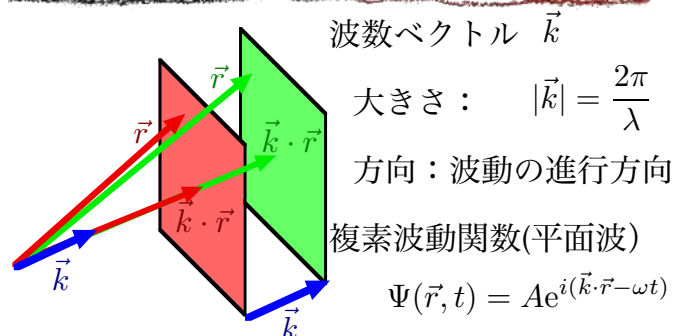
$$\Psi(x, t) = A \exp[i(kx - \omega t)]$$

$$\Psi(x, t) = A e^{i(kx - \omega t)}$$

$$e^{iz} \equiv \cos z + i \sin z$$

17

三次元空間の波動



18