

文1・今日は電子配置と電子の詰まり方について勉強します。

文2・ボーアの原子モデルは惑星が太陽の周りを回るように電子が原子核の周りを回っているというモデルです。

文3・皆さんがこれまで学んできたものも同様なものだと思います。

文4・しかし電子は粒子としての性質と伴に波動としての性質も持っています。

文5・実際には原子核の周りを粒子として回っているのではなく、原子核の周りのある場所に存在するという存在確率として表されます。

文6・確率で表されるのは不確定性原理（位置と運動量の両方を同時に測定することは不可能であるという原理）と呼ばれるもののためです。

文7・この存在確率の分布を一般に電子

S1・Today, we will study electron configurations and how to fill electron orbitals.

S2・The Bohr model of the atom describes atoms as a nucleus orbited by electrons that travel in circular orbits, similar to planets orbiting around the sun.

S3・I assume that many of you have learned the same.

S4・But, electrons behave as not only particles but also waves.

S5・In fact, electrons do not orbit around an atomic nucleus as particles. Instead, an electron orbital represents the probability that an electron is located at any specific point around an atomic

軌道きどうといいます。

nucleus.

S6・An electron orbital represents a probability because of the uncertainly principle, which states that the momentum and location of a particle at a given moment cannot both be determined exactly.

S7・The probability distribution of an electron's position is called an electron orbital.

キーワード(Key words)

・電子でんし ・原子核げんしかく ・電子配置でんしはいち ・ボーアの原子モデルげんしの ・不確定性原理ふかくていせいげんり ・電子軌道でんしきどう

関連用語(Related terminologies)

- ・粒子 (粒子) : particle
- ・ド・ブロイ波長 (ど・ぶろいはちょう) : de Broglie wave length
- ・ハイゼンベルグ (はいぜんべるぐ) : Heisenberg

日本語解説

文2 「惑星わくせい」: 「星せい」は「星ほし(star)」という読み方よみかたもあります。

文2 「周りまわり」: ものを囲かこんだ(surrounded)部分ぶぶんのことです。例えば、円えんの周りまわりを「円周えんしゅう」と言いいます。円周率えんしゅうりつ(ratio)というのは、 π (パイ) です。

文4 「波動はどう」: 「波は」は、「波なみ(wave)」とも読よみます。
例: 「波長はちょう」は、「波なみ」の長ながさです。

文5 「確率かくりつ」: 「率りつ」は、"ratio" です。「確かく」は、「確かたし(correctness)」という読み方よみかたがあります。

文7 「軌道きどう」: 電車でんしゃなどが通とおる道みちのことですが、ここでは、物体ぶつたい(substance)が運動うんどうする (being motion) ときのコースのことです。

- 文 1 ・ ^{そんざい}存在確率^{かくりつ}はシュレディンガーの
^{ほうていしき}方程式^とを解く^とことで求め^とられます。
- 文 2 ・ シュレディンガーは 1926^{ねん}年にこの
^{ほうていしき}方程式^{かんが}を考^だえ出しました。
- 文 3 ・ 先^きほども^{べんきょう}勉強^{でんし}しましたが、電子^{でんし}は
^{りゅうし}粒子^{せいしつ}としての性質^{はどう}だけでなく、波動^{せいしつ}
の性質^も持つ^ものでした。
- 文 4 ・ 古典^{こてん}物理学^{ぶつりがく}の発展^{はつてん}系^{けい}であったボーア
の^{げんし}原子^{せつめい}モデル^{では}説明^{でき}ない
^{もんだいてん}問題点^をシュレディンガーは^{はどう}波動^の
^{せいしつ}性質^{によつて}解決^{しました}。
- 文 5 ・ シュレディンガーの^{ほうていしき}方程式^{つぎ}は次のよ
^{しき}うな式^{あらわ}で表^{あらわ}されます。

- S1 • The probability density of an electron is obtained by solving the Schrodinger equation.
- S2 • Schrodinger devised this equation in 1926.
- S3 • Previously, we learned that electrons behave as not only particles but also waves.
- S4 • By considering the properties of waves, Schrodinger was able to solve problems that could not be explained by the Bohr model of the atom, since the latter was a development of

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - V)\Psi = 0$$

文6・詳しい説明はここでは行いませんが、この式を解くことで分かることは次のことです。

文7・エネルギーの固有値と波動関数が分かります。

文8・波動関数が分かると、そこから存在確率を求めることができます。

文9・この発見によって量子力学は一気に進展を遂げることになります。

classical physics.

S5・The Schrodinger equation is given by the following formula.

$$\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - V)\Psi = 0$$

S6・Here, I will not give a detailed explanation of this equation, but I would like to discuss what we can understand from solving it.

S7・From the Schrodinger equation, we can obtain the eigenvalue of energy and the wave function.

S8・By solving for the wave function, we can obtain the probability density of an electron.

S9・This discovery led to rapid advances in quantum mechanics.

キーワード(Key words)

・シュレディンガーの方程式 ・波動関数 ・量子力学

関連用語(Related terminologies)

- ・マクスウェルの方程式 (まくすうえるのほうていしき) : Maxwell's equations
- ・運動エネルギー (うんどうえねるぎ) : kinetic energy
- ・運動量 (うんどうりょう) : kinetic momentum
- ・境界条件 (きょうかいじょうけん) : boundary condition
- ・演算子 (えんざんし) : operator

日本語解説

文1「方程式を解く」:「解く」は、答え(answer)をだすことです。「解く」は「解」とも読みます。「答え」は、「解答」と同じです。

文3「先ほど」: ちょっと前に

文7「固有」: そのものだけがもっていることを表します。
例: 固有値(value)

文9「一気に」: いろいろなことが一度に

文9「進展」: 「進歩(progress)」と「発展(develop)」を一つにしたことば。

文1・いままでに習った電子殻K殻、L殻、M殻・・・は電子軌道から構成されています。

文2・電子軌道はs軌道、p軌道、d軌道、f軌道・・・と表します。

文3・ここで新しい概念である量子数を取り入れます。

文4・量子数は先ほどの勉強した波動関数を構成するパラメーターです。

文5・この値が決まることで、波動関数が決定されます。

文6・量子数には主量子数、副量子数、磁気量子数、スピン量子数の4つがあります。それぞれ n , l , m , m_s と表します。

文7・主量子数 n は軌道の広がりを決め $n=1, 2, 3, \dots$ がそれぞれ K, L, M・・・殻に対応しています。

S1・In your previous chemistry courses, you have learned about electron shells (for example, the K, L, and M shells); these consist of electron orbital.

S2・Specifically, the s orbital, p orbital, d orbital, and f orbital.

S3・Now, I will introduce a new, general concept of quantum numbers.

S6・Quantum numbers include the principal quantum number, the azimuthal quantum number, the magnetic quantum number, and the spin quantum number. These numbers are denoted as n , l , m_l , and m_s , respectively.

S7・The principal quantum number n describes the energy level of the

文 8 ・ 副量子数は軌道の形を決め、 $l=0, 1, 2, \dots$ がそれぞれ s, p, d \dots 軌道に対応しています。

文 9 ・ 磁気量子数は軌道の分布方向を決めます。

文 10 ・ $+l \sim -l$ までの $2l+1$ 個の値をとります。

文 11 ・ ですから、ある主量子数に対して取りうる軌道の総数は n^2 個となります。

文 12 ・ ここで 2p 軌道を例にとって考えてみましょう。

文 13 ・ 主量子数は 2, 副量子数は 1, 磁気量子数は 3 個の値をとります。

文 14 ・ ですので、2p 軌道は 3 個の軌道をもつこととなります。

文 15 ・ 軌道の形を見てみましょう。

文 16 ・ s, p, d, f 軌道はそれぞれ異なる軌道の形をしています。

文 17 ・ 例えば s 軌道は丸い球体の形をしていますが、p 軌道は鉄アレイのような形、d 軌道は四葉のクローバーのような形をしています。

文 18 ・ これは副量子数によって軌道の広がり方向が異なるためです。

文 19 ・ 最後にスピン量子数 m_s について説明します。

文 20 ・ ある 1 つの軌道には電子が 2 個まで入ることが出来ます。

文 21 ・ そのとき上向きと下向きのスピンの別れます。それを決めるのがスピン量子数です。 $m_s = \pm 0.5$ をとります。

orbital and corresponds to the electron shell: for example, $n = 1, 2,$ and 3 corresponds to the K, L, and M shells, respectively. As n increases, the orbitals increase in size.

S8 ・ The azimuthal quantum number l describes the type of atomic orbital: $l = 0, 1, 2,$ and 3 corresponds to the s, p, d, and f orbitals, respectively.

S9 ・ The magnetic quantum number, m_l describes the shape of the orbital, and corresponds to $2l+1$ orbitals.

S11 ・ Thus, a principal quantum number, n has n^2 orbitals in total.

S12 ・ Here, let us take the 2p orbital as an example.

S13 ・ The 2p orbital consists of three orbital because $n=2, l=1,$ and the magnetic quantum number can take three values.

S15 ・ Let us examine the shape of the different atomic orbitals.

S16 ・ The s, p, d, and f orbitals do not have the same shape.

S17 ・ An s orbital is spherical, while p orbitals are dumbbell-shaped and d orbitals, depending on the magnetic quantum number, are in the shape of either a four-leaf clover or two lobes with a doughnut-shaped ring around the center.

S18 ・ Because of the difference of orbital broadening described by the azimuthal quantum number.

S19・Finally, we will discuss the spin quantum number m_s .

S20・An electron orbital can contain up to two electrons.

S21・Two electrons in an orbital must each have opposite spin, which is described as either “up” or “down”. The spin quantum number describes this spin direction and takes values of $m_s = \pm 0.5$.

キーワード(Key words)

・電子殻^{でんし かく} ・量子数^{りょうしすう} ・主量子数^{しゅりょうしすう} ・副量子数^{ふくりょうしすう} ・磁気量子数^{じ きりょうしすう} ・スピン量子数^{りょうしすう}

かんれんようご 関連用語(Related terminologies)

・位置座標 (いちざひょう) : position coordinate
・角運動量 (かくうんどうりょう) : angular momentum

にほんごかいせつ 日本語解説

文3 「新しい概念である量子数」: 量子数は新しい概念です。

例: 友達である本田さん→本田さんは友達です。

文5 「～することで、～します」: 「～することで」は、理由(reason)を表します。

文11 「 n^2 」: 「n (エヌ) にじょう」と読みます。

文14 「ですので」: 「ですから(therefore)」と同じです。いまは、「なので」ということばもよく使われます。

文17 「鉄アレイ」: トレーニングに使うもの。鉄(iron)でできています。ダンベルのことです。

文17 「四葉のクローバー」: 「葉」は、” leaf” のことです。

文18 「広がり方向」: 「広がり」は「広くなること」ですが、広くなっていく方向(direction)のことです。

文21 「～向き」: 「向く」ということばは、ある方向(direction)に正面(front)をもっていくことです。ここから、右向き、左向き、上向き、下向きなどのことばができました。

文1・次に電子の詰まり方のルールを説明
します。

文2・まず組み立ての原理です。

文3・これは、電子はエネルギーの低い軌道
から順番に入っていくというもの
です。

文4・ですからいきなりエネルギーの高い
軌道に電子が入ることはあってはな
りません。

文5・パウリの排他原理は先ほど説明した
4つの量子数が同じ組み合わせにな
る電子は2つとして存在しないとい
う原理です。

文6・ですから同じ軌道に2つの電子が
入るときには必ず上向きのスピンと
下向きのスピンに分かれる必要があ
ります。

文7・同じスピンの向きではいけません。

S1・Now, I will explain the rule governing
how to fill electron orbitals.

S2・First, we will study the Aufbau
principle.

S3・This principle states that electrons fill
the lowest energy orbitals in turn.

S4・Thus, electrons are forbidden from
filling a higher energy orbital first.

S5・The Pauli exclusion principle states
that two electrons in a single atom
cannot have the same four quantum
numbers.

S6・So, when two electrons occupy the
same orbital, the direction of their
spin must be opposite.

S7・Two electrons in the same orbital are
forbidden from having the same spin.

- 文 8 ・最後にフントの規則です。
- 文 9 ・複数の縮重している（同じエネルギーを持つ軌道）軌道に電子が入るとき、スピンの向きが同じになるように出来るだけ別々の軌道を占めるのが一番安定であるという規則です。
- 文 10 ・例として 3d 軌道を考えてみましょう。
- 文 11 ・軌道の数は $2l+1$ で 5 つあります。
- 文 12 ・そこへ電子が 5 つ入るとき、対を作るのではなく、同じスピンの向きで 5 つ並んで入るのが一番安定です。
- 文 13 ・これがフントの規則です。

- S8 ・ Finally, we will study Hund's rule.
- S9 ・ This rule states that when electrons fill multiple degenerate orbitals (that is, orbitals with the same energy), the electrons occupy different orbitals and have the same spin direction because this configuration is most stable.
- S10 ・ For example, let us consider the 3d orbital.
- S11 ・ The number of orbitals is five ($2l+1$).
- S12 ・ When five electrons fill the orbitals, the electrons will occupy different orbitals and have the same spin direction.
- S13 ・ This is Hund's rule.

キーワード(Key words)

- ・組み立ての原理 ・パウリの排他原理 ・フントの規則 ・縮重

関連用語(Related terminologies)

- ・クーロン力 (くーろんりよく): coulomb force
- ・位置エネルギー (いちえねるぎー): potential energy
- ・不対電子 (ふついでんし): unpaired electron
- ・孤立電子対 (こりつでんしつい): lone electron-pair

日本語解説

文 4 「あってはなりません」: 「あってはいけません」と同じです。

文 5 「二つとして」: 一つだけであるということです。

文 9 「縮重」: 「縮」は、「縮む(shrink)」という読み方があります。

文 9 「出来るだけ」: "as as possible"

例: 出来るだけ早く as soon as possible

- 文 1 ・ では電子軌道にどのように電子が
入っていくかを説明します。
- 文 2 ・ 電子はエネルギー準位の低いところ
から順番に入っていきます。
- 文 3 ・ 図に表したように軌道のエネルギー
は 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s,
4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s・・・の順番
に大きくなっていきます。
- 文 4 ・ ただし例外として鉄(Fe)などの遷移
金属イオンとその化合物では原子核
に近い軌道から電子が詰まっていく
ので注意が必要です。
- 文 5 ・ では何故、原子核から近い順番に
電子軌道のエネルギーが大きくなっ
ていかないのでしょうか？
- 文 6 ・ 次の項からそれを勉強します。

- S1 ・ Let us next study how to fill electron orbitals.
- S2 ・ Electrons occupy the lowest energy orbitals in turn.
- S3 ・ As shown in the figure, orbital energy increases in the following order: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, and 7s.
- S4 ・ But, by way of exception, please attention that electron fills the orbital nearest atomic nucleus in transition metal ion (Fe) and those of compounds.
- S5 ・ Why does the energy of electron orbitals not increase near the atomic nucleus in turn?
- S6 ・ We will study this on the next page.

キーワード(Key words)

- ・エネルギー準位

関連用語(Related terminologies)

- ・束縛 (そくばく) : containment
- ・量子化 (りょうしか) : quantization

日本語解説

文2 「準位」: レベル(level)のことです。

文4 「遷移」: 「遷」は、場所(location)、状態(state)を変えること、「移」は、「移る」と読み、場所を変えることです。

文4 「例外」: ” exception” です。

文6 「項」: ” section” です。

- 文1・この項では遮蔽を勉強します。
- 文2・遮蔽とは電子軌道に存在している電子（マイナス電荷）がどれだけ原子核（プラス電荷）からの引力を受けるかという指標です。
- 文3・遮蔽の寄与を知るにはスレーターの規則というものを使います。
- 文4・スレーターの規則を使って遮蔽を引いた分の核電荷をスレーターの有効核電荷といい $Z^*=Z-S$ と表します。
- 文5・ここで Z は核電荷です。 S を遮蔽定数といいます。
- 文6・スレーターの規則は以下の5つのルールに従って求めます。

- S1・ In this section, we will study screening.
- S2・ Screening is the measure of how strongly a negatively charged electron in a given electron orbital is attracted to the positively charged nucleus of the atom.
- S3・ To determine the contribution of screening, we will use Slater's rules.
- S4・ The effective nuclear charge, which is the full nuclear charge minus the effects of shielding described by Slater's rules, is given by $Z^*=Z-S$.
- S5・ Z is the nuclear charge, and S is called the screening constant.
- S6・ Slater's rules comprise the following five rules:

文 7 ・ ①電子軌道を [1s] [2s, 2p] [3s, 3p] [3d] [4s, 4p] [4d] [4f] [5s, 5p] のように分類します。

文 8 ・ いま問題にしている電子が属しているグループよりも右側にある電子の遮蔽は無視します。

文 9 ・ ②問題の電子が属するグループ内の他の各電子は 0.35 だけ S に寄与します。(1s は 0.30)

文 10 ・ ③主量子数が $n-1$ のグループの各電子は 0.85 の寄与をします。

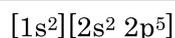
文 11 ・ ④主量子数が $n-2$ あるいはそれ以下のグループの各電子の寄与は 1 となります。

文 12 ・ ⑤問題の電子が [nd] や [nf] の場合、③と④は成立せず、その前の各電子はすべて 1 の寄与をします。

文 13 ・ 例として F 原子の 1s, 2s, 2p 軌道の電子が受ける有効核電荷 Z^* を求めましょう。

文 14 ・ F 原子は 9 個の電子をもちます。

文 15 ・ エネルギーの低い順に電子を詰めるという電子配置になります。



S7 ・ 1) Assign the electron orbitals to one of the following groups: [1s] [2s, 2p] [3s, 3p] [3d] [4s, 4p] [4d]

[4f] [5s, 5p].

S8 ・ Ignore the screening of electrons in orbitals to the right of the group to which the target electron has been assigned.

S9 ・ (2) Each of the other electrons in the group to which the target electron belongs contribute only 0.35 to S (1s is 0.30).

S10 ・ (3) Each electron whose principal quantum number is $n-1$ contributes 0.85.

S11 ・ (4) Each electron whose principal quantum number is $n-2$ or less contributes 1.

S12 ・ ⑤ In case of electrons belonging to [nd] and [nf], rules (3) and (4) do not apply and each electron assigned to a group to the left contributes 1.

S13 ・ For example, let us calculate the effective nuclear charge Z^* for 1s, 2s, and 2p orbital electrons of F atom.

S14 ・ F atom has nine electrons.

S15 ・ Putting the electrons in ascending order of energy, the electron configuration becomes $[1s^2] [2s^2 2p^5]$.

文 1 6 ・ この 1s 電子が受ける遮蔽はもうひとつの 1s 電子が②より 0.3 の寄与となるので $Z^*=9-0.3=8.7$ となります。

文 1 7 ・ 2s, 2p の電子を考慮してみましょう。

文 1 8 ・ 2s や 2p 電子は 1s 電子の遮蔽には寄与しません (①より)

文 1 9 ・ 2s や 2p 電子の Z^* では n-1 グループの 1 s² 電子が 0.85x2、残りの同じグループの 6 個の電子が 0.35 x 6 の遮蔽をします。

文 2 0 ・ ですから $Z^*=9-0.85 \times 2-0.35 \times 6=5.2$ となります。

文 2 1 ・ そのため 1s 軌道の電子は 2s, 2p 軌道の電子に比べて原子核近くに分布し、エネルギー的に不活性な軌道となります。

文 2 2 ・ このように結合に使われない内側の軌道を内殻軌道といいます。

文 2 3 ・ その軌道の電子を内殻電子と呼びます。

文 2 4 ・ 一方、化学結合に直接関与するのは最も外側に存在する軌道であり、原子価軌道といいます。

文 2 5 ・ その軌道中の電子を価電子と呼びます。

S16 ・ The effective nuclear charge action on the 1s electrons is $Z^*=9-0.3=8.7$ because the other 1s electron's contribution is 0.3 due to rule (2).

S17 ・ Let us next consider the 2s and 2p electrons.

S18 ・ 2s and 2p electrons do not contribute to screening of the 1s electrons because of rule (1).

S19 ・ For the effective nuclear charge Z^* acting on the 2s and 2p electrons, the s² electrons of the n-1 group contribute 0.85×2 and the other 6 electrons of the same group contribute 0.35×6.

S20 ・ So, $Z^* = 9-0.85 \times 2-0.35 \times 6 = 5.2$.

S21 ・ Therefore, the 1s electrons are distributed closer to the atomic nucleus compared with the 2s and 2p electrons, and thus the 2s and 2p orbitals are less energetically stable. An orbital that does not participate in bond formation is called an inner orbital.

S22 ・ The electrons in such orbitals are referred to as inner electrons.

S24 ・ Conversely, the orbitals farthest from the atomic nucleus directly participate in chemical bonding and are called valence orbitals.

S25 ・ The electrons in these orbitals are called valence electron.

キーワード(Key words)

・遮蔽しやへい ・スレーターの規則きそく ・有効核電荷ゆうこうかくでんか ・内殻軌道ないかくきどう ・価電子軌道かでんしきどう ・価電子かでんし

かんれんようご 関連用語(Related terminologies)

- ・ポテンシャル(ぼてんしゃる): potential
- ・クーロンの法則(くーろんのほうそく): Coulomb's law

にほんごかいせつ 日本語解説

文2 「指標」: 「指」は「指」という読み方もあります。「指さす(point out)」という言い方から、「指標」は、“index”ということを表します。

文8 「無視する」: 「視」は、見ることです。例えば、「視力」は、“eyesight”です。このことから「無視する」は、ある(exist)ものをない(not exist)ものとするということです。

文9 「0. 35」: 「れいてんさんご」ですが、「れいてんさんごう」と「ご」を「ごう」のように言います。

文12 「問題の～」: 「話題(topic)になっている」 something in question” という意味です。
例: 問題の人

- 文1・一般に ns 軌道の方が貫入効果は大きいので $ns < np$ となります。
- 文2・図にあるように同じ周期で周期表を右に進むと有効核電荷 Z^* が大きくなるのでエネルギーは低くなります。
- 文3・一方、同じ族で周期表を下がると Z^* は大きくなります。
- 文4・しかし n が大きくなることから電子分布が原子核から離れます。そのためエネルギーは高くなります。
- 文5・これらの理由から $3d$ と $4s$ 軌道を比較した場合、 $4s$ の軌道の方が原子核近くまで貫入しているため $3s$, $3p$ 電子の遮蔽を受けにくくなります。

- S1・ ns orbital is generally larger intruder effect, so $ns < np$.
- S2・As shown in the figure, the effective nuclear charge Z^* becomes larger moving to the right on the periodic table in the same period, so the energy is reduced.
- S3・At the same time Z^* becomes larger moving down the periodic table in the same group.
- S4・However, the electron distribution is farther from the nucleus because n becomes larger. Thus, the energy becomes larger.
- S5・When we compare the $3d$ and $4s$ orbitals, the $4s$ electrons are less screened by $3s$ and $3p$ electrons because the $4s$ orbital penetrates

文6・結果としてエネルギーが低くなります。

文7・同様に、貫入により電子軌道のエネルギーはこのような順番で並びます。

文8・ $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s \leq 3d < 4p < 5s \leq 4d < 5p < 6s \leq 4f \leq 5d < 6p < 7s < 5f < 6d$

文9・ただし遷移金属イオンやその化合物では順番が一部逆転して $4s > 3d$, $5s > 4d$, $6s > 5d$ となります。

文10・これは陽イオンになると $3s$, $3p$ 軌道が縮み、 $4s$ 軌道の貫入が減るからです。

closer to the nucleus.

S6・As a result, energy becomes lower.

S7・In this way, electron orbital energy is arranged as follows, because of penetration.

S8・ $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s \leq 3d < 4p < 5s \leq 4d < 5p < 6s \leq 4f \leq 5d < 6p < 7s < 5f < 6d$

S9・But in case of transition metals, the order is reversed:

$4s > 3d$, $5s > 4d$, $6s > 5d$.

S10・This is because the $3s$ and $3p$ orbitals are smaller and the $4s$ orbital penetrates less.

キーワード(Key words)

・貫入 (かんにゅう) ・周期表 (しゅうきひょう) ・遷移金属 (せんいきんぞく)

関連用語(Related terminologies)

- ・メンデレーエフ (メンデレーエフ) : Mendeleev
- ・元素 (げんそ) : element
- ・酸化数 (さんかすう) : oxidation number
- ・原子量 (げんしりょう) : relative atomic mass

日本語解説

文1 「貫入」: 「貫」は、「貫く」という読み方があります。これは、「penetrate」です。
「入」は、「入る (to enter)」です。

例: 入学 (学校に入ること)

文2 「周期」: 「周」は、部分 (area) を囲む (surround) 線 (line) のこと。「期」は、ある一定の期間 (time interval)

文7 「並ぶ」: 列 (line, queue) をつくって、つらなる (be in a line) こと。

例: 並列 (parallel)、直列 (series)

文1・最後に実際の電子配置をみてみましょう。

文2・図には水素からチタンまでの原子中の電子配置が示されています。

文3・炭素原子を例にとると、一番エネルギーの低い1s軌道に電子が上下のスピんで入ります。

文4・これは次の2s軌道も同様です。

文5・2p軌道ではいくつか電子の入りが考えられますが、フントの規則によりスピンの同じ方向で違う軌道を占めるのが一番安定（基底状態）と学んだので電子はこのような配置になります。

S1・Finally, let us look at actual electron configurations.

S2・In the figure, the electron configuration is shown for selected atoms from H to Ti.

S3・Taking a carbon atom as an example, the electrons occupy the lowest-energy 1s orbital with opposite spin.

S4・Next, the 2s orbital is filled in a similar manner.

S5・The remaining three electrons fill the 2p orbitals. In accordance with Hund's rule, which we discussed previously, each electron occupies its own orbital and their spins are parallel in the most stable configuration (ground state).

キーワード(Key words)

- ・基底状態きていじょうたい

関連用語(Related terminologies)

- ・固有状態 (こゆうじょうたい) : eigenstate
- ・バンド計算 (ぼんどけいさん) : band calculation

日本語解説

文2 「チタン」: ” titanium” の ” ti” は、「チ」と発音はつおんします。

文3 「上下」: 上じょうげと下うへです。

文1・これまで原子中の電子について勉強してきました。

文2・続いてたくさんの原子からなる結晶中の電子について勉強します。

文3・結晶には金属のように電気を流すものや、ダイヤモンドのように流さないもの、そしてシリコンなどの半導体が存在します。

文4・なぜ、結晶によってこのような違いがあるのでしょうか？

文5・ここでは結晶の電氣的性質について電子軌道の観点から考えてみます。

文6・最初に半導体の代表であるシリコン(Si)の軌道を例に挙げます。

文7・孤立したSiの原子は規則にならって $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ の電子配置をもちます。

文8・この時、原子中の電子はそれぞれ

S1・Up to this point, we have considered only electrons of atoms.

S2・Next, we will study electrons in a crystal composed of many atoms.

S3・There are conductive crystals such as metals, insulators such as diamond, and semiconductors such as silicon.

S4・Why do these materials exhibit different electrical properties?

S5・Here, we will consider the electrical properties of crystals from the perspective of electron orbitals.

S6・To begin, let us consider the example of Si, which is a typical semiconductor.

S7・Isolated Si atoms have an electron configuration of $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$.

$1s^22s^22p^63s^23p^2$ の固有のエネルギー状態をもつ軌道上を運動しています。

文 9 ・ この原子を接近させ結晶をつくると、どうなるでしょうか？

文 10 ・ 図に固体 Si 結晶の電子軌道の模型を示します。

文 11 ・ 内側の軌道 $1s^22s^22p^6$ の電子は原子核に引き付けられており、となりの Si 原子には移動することはできません。

文 12 ・ つまり内側の軌道 $1s^22s^22p^6$ の電子は Si 原子同士の結合に関与せず独立しています。

文 13 ・ 一方、最外殻の $3s^23p^2$ 電子は原子核から離れています。

文 14 ・ この 4 つの電子は s 軌道と p 軌道を混成した sp^3 混成軌道を作ります。

文 15 ・ そしてこの sp^3 混成軌道の 4 つの電子がとなりの Si と結合するのに使われます。

文 16 ・ このようにして Si 原子が 3 次元的に集まり、全体に非局在化した分子軌道ができあがります。

S8 ・ At this time each electron in atom move orbits which have intrinsic $1s^22s^22p^63s^23p^2$ energy state.

S9 ・ What will happen if silicon atoms approach each other and form a crystal?

S10 ・ The molecular orbital diagram of solid Si crystal is shown in the figure.

S11 ・ The inner $1s^22s^22p^6$ electrons are strongly attracted to the atomic nucleus and cannot interact with other Si atoms.

S12 ・ Consequently, the inner $1s^22s^22p^6$ electrons do not participate in bond formation between atoms and are independent.

S13 ・ At the same time, the outermost $3s^23p^2$ electrons are screened by the inner electrons, as well as located at a greater distance from the nucleus.

S14 ・ These four electrons can be thought to occupy sp^3 hybrid orbitals composed of an s orbital and three p orbitals.

S15 ・ These four electrons in the sp^3 hybrid orbitals are used to bond with other Si atoms.

S16 ・ In this way, Si atoms assemble in three dimensions and a fully delocalized molecular orbital is formed, when an extremely large number of atoms constitute the crystal.

キーワード(Key words)

・電子^{でんし} ・軌道^{きどう} ・半導体^{はんどうたい} ・シリコン^{シリコン} ・電子配置^{でんしはいち} ・原子核^{げんしかく} ・最外殻^{さいがいかく} ・sp³混成軌道^{こんせいきどう} ・
非局在化^{ひきょくざいか}

関連用語(Related terminologies)

- ・集積回路(しゅうせきかいろ) :integrated circuit IC
- ・電気陰性度(でんきいんせいど) :electronegativity
- ・イオン結合(いおんけつごう) :ionic bond
- ・共有結合(きょうゆうけつごう) :covalent binding
- ・s 軌道(えすきどう) :s orbital
- ・p 軌道(ぴーきどう) :p orbita

日本語解説

文2 「続いて」:「続く」ということばは、「次の(next)ページに続く」というように連続して(continuously)、何かが起こることを表します。

文3 「半導体」:「半」は、「導体(conductor)」と「絶縁体(insulator)」の中間(middle)であるということを表します。「絶縁」ということばは、「縁」を切ること、つまり、関係を切ること(break off relations)を表します。

文9 「接近させる」:「接近する」の使役形(causative form)です。「接する」ということばは、「触れる(touch)」ことを表します。
例:接線 (a tangent line)

文14 「混成した」:「混」は、「混ぜる(mix, blend)」という読み方があります。

文16 「非局在化した」:「局在する」というのは、限られた(limited)場所(area)に存在する(to exist)ことです。ここでは、「非」という否定接頭辞(negative prefix)がありますから、いろいろなところに存在するということです。

- 文1・この分子軌道は外側の軌道上にある電子ほどエネルギー状態が高いため、同じ軌道の中でも少しエネルギーが違います。
- 文2・言い換えれば、分子軌道のエネルギーには幅があるのです。
- 文3・このエネルギーの幅のある軌道をバンドと呼びます。
- 文4・さらに電子で満たされた最外殻のバンドを価電子帯といい、さらにその上のバンドを伝導帯といいます。
- 文5・価電子帯と伝導帯の間は電子が入ることができません。ここを禁制帯、その幅をバンドギャップといいます。

- S1・ This molecular orbital has a little different energy in the same orbital because the electron in outside orbital exists higher energy level.
- S2・ In other words, the molecular orbitals have an essentially continuous range of energy.
- S3・ This continuum of orbitals over an energy range is called a band.
- S4・ In addition, the outermost band that is filled with electrons is called the valence band. The band above the valence band is called the conduction band.
- S5・ Between the valence band and the conduction band, there is a range of energy in which no electronic states exist. This range is called the band

文6・このバンドギャップは結合する原子の電気陰性度が大きく、原子価軌道が核に強く引かれているほど大きくなります。

gap.

S6・ The band gap increases as the electronegativity of the atoms involved in bonding increases, because valence electrons are more strongly attracted by the nucleus.

キーワード(Key words)

・バンド ・価電子帯 ・伝導帯 ・禁制帯 ・バンドギャップ

関連用語(Related terminologies)

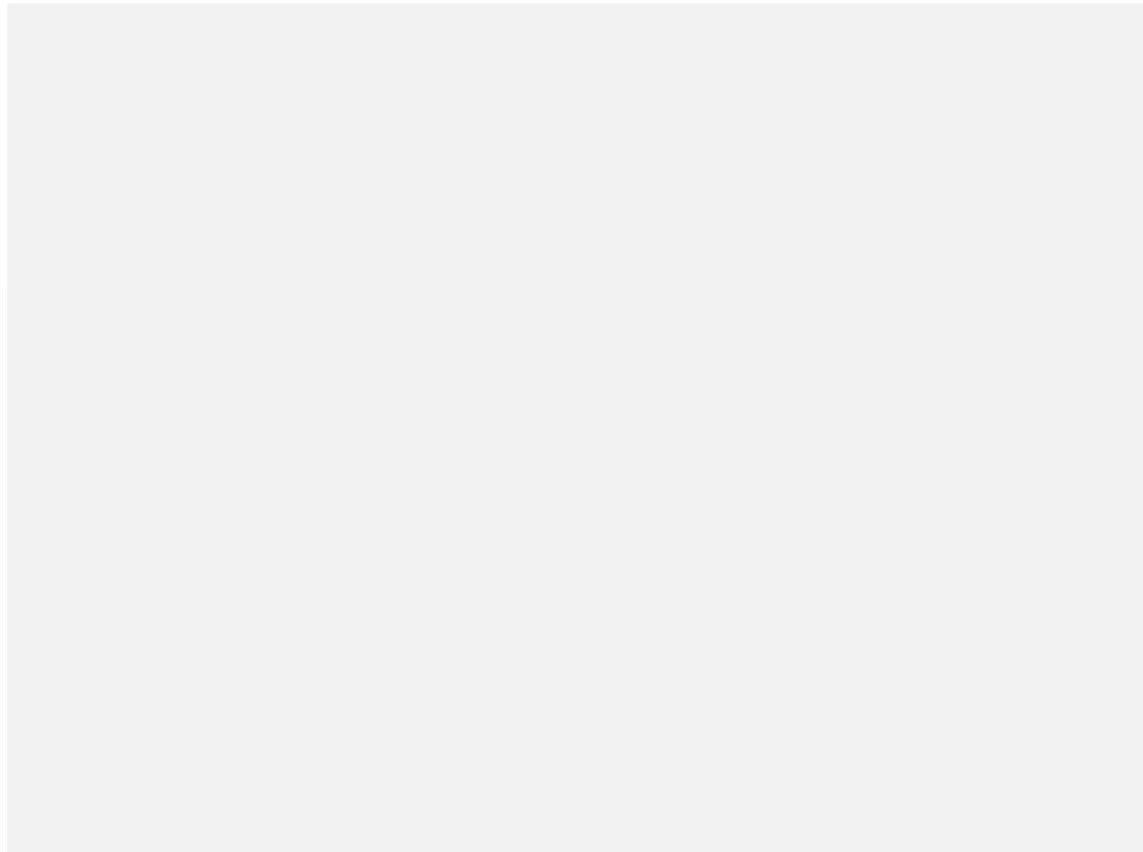
- ・分子軌道 (ぶんしきどう) : molecular orbital
- ・E-k 空間 (E-k ふうかん) : E-k space
- ・直接遷移 (ちよくせつせんい) : direct transition
- ・間接遷移 (かんせつせんい) : indirect transition

日本語解説

文2 「幅」: ここではエネルギーの大きさに、"range" があるということです。

文4 「価電子帯」: 「帯」は、「帯」と読みます。着物を着るとき、腰(waist)に巻く布(cloth)のことです。ここでは、の"band" ことです。

例: 周波数帯 a frequency band



- 文1・ここではバンド構造から結晶中の電子の伝導性を考えます。
- 文2・図は結晶におけるエネルギーバンド図を半導体、絶縁体、金属について示しています。
- 文3・初めに半導体について説明します。
- 文4・半導体では絶対零度において、すべての価電子は価電子帯に存在します。
- 文5・そして伝導帯はまったくの空になり電子は動くことができません。
- 文6・つまり絶対零度では、半導体は電気を流しません。
- 文7・しかし、半導体はバンドギャップが約1 eV程度とあまり大きくありません。
- 文8・この時、温度を室温まで上げると電子はエネルギーを外部からエネルギーを貰います。
- 文9・すると一部の電子は伝導帯に移動し
- S1・ Next, we will study the electrical conductivity in a crystal, considering its band structure.
- S2・ The figure shows the energy band diagram for crystals that are a semiconductor, insulator, and metal.
- S3・ First, I will explain semiconductors
- S4・ All valence electrons are in the valence band of a semiconductor at absolute zero.
- S5・ Consequently, no electrical conduction occurs because there are no electrons in the conduction band.
- S6・ In other words, semiconductors do not conduct electricity at absolute zero.
- S7・ On the other hand, the band gap of a semiconductor is not especially large, and has a value of approximately 1.0

ます。

文10・このように電子が高いエネルギー状態に移動することを励起と言います。

文11・この時、価電子帯で電子の抜けた孔は正孔、またはホールと呼ばれます。

文12・これらの伝導帯の電子と価電子帯の正孔は電圧をかけると移動します。

文13・つまり、温度を上げると電気が流れます。

文14・さらに温度を上げると移動可能な伝導体の電子や価電子帯の正孔の数が増えます。

文15・そのため半導体の特徴として、温度を上げると電気抵抗が小さくなります。

文16・続いて絶縁体について説明します。

文17・ダイヤモンドなどの絶縁体は電気陰性度が大きく、軌道が核付近に集中するため、3 eV以上と非常に大きなバンドギャップを持ちます。

文18・したがって伝導帯に励起される電子の数が極めて少ないためほとんど電子は動きません。

文19・つまり半導体とは異なり、いくら温度を上げても電気は流れないのです。

文20・最後に金属につきまして説明します。

文21・金属は価電子によりバンドが完全に満たされていないため、バンドギャップは存在しません。

文22・そのため容易に電子が動くことができます。

文23・金属の温度を上げると、構成振動が大きくなり、自由電子の動きを妨害

eV.

S8・Adding heat provides energy to the electrons.

S9・As a result, a portion of the electrons transfer into the conduction band from the valence band.

S10・Such a transition to a higher energy state is called excitation.

S11・Owing to the conservation of charge, when an electron is excited to the conduction band, a positive charge or hole is left behind in the valence band.

S12・These electrons in the conduction band and holes in the valence band act as charge carriers when voltage is applied.

S13・To sum up, for semiconductors, increasing temperature increases electrical conductivity.

S14・By adding heat, the number of mobile electrons in the valence band or mobile holes in the valence band increases.

S15・For this reason, decreasing resistance with increasing temperature is characteristic of a semiconductor.

S16・Next, I will explain insulators.

S17・Insulators, for example, diamond, have a large band gap of greater than 3.0 eV, owing to high electronegativity, which causes the orbitals to be concentrated near the nucleus.

します (格子振動)。

文 24・したがって温度をあげると、金属は
逆に抵抗が大きくなります。

文 25・図中の E_F で示したエネルギーを
フェルミ準位といいます。

文 26・フェルミ準位とは絶対零度におい
て電子が存在できる最大エネルギーを
いいます。

S18・Consequently, the number of
electrons excited into the conduction
band is very few and almost all electrons
remain in the valance band.

S19・For cases other than semiconductors,
increasing heat does not increase
current.

S20・Finally, I explain the band structure
of metals.

S21・There is not a band gap because the
valence band is not full of valence
electrons

S22・Thus, electrons can transfer easily.

S23・As heat is added, the oscillation of
the constituent atoms becomes larger,
which inhibits electron motion (this
oscillation is called lattice vibration).

S24・In other words, increasing
temperature increases resistance.

S25・The energy level denoted as E_F in
the figure is called the Fermi level.

S26・The Fermi level is the maximum
energy level at which an electron can
exist at absolute zero.

キーワード(Key words)

・絶縁体 ・金属 ・絶対零度 ・励起 ・正孔 ・ホール ・格子振動 ・フェルミ準位

関連用語(Related terminologies)

- ・ボルツマン分布 (ぼるつまんぶんぷ) : (Boltzmann distribution)
- ・状態密度 (じょうたいみつど) : (density of states)

日本語解説

文 5 「空」: 何もないことです。 例: 空の箱 (box)

文 8 「室温」: 「室」は「教室(classroom)」の「室」ですから、「部屋(room)」のことです。

ここでは、「部屋の温度(temperature)」ということです。

文 15 「電気抵抗」: 「抵抗する」は、”to resist” という意味です。

例: 権力(authority)に抵抗する

文1・ここでは結晶中の電子のエネルギー状態を勉強します。

文2・まず、真空中に孤立して存在し、運動エネルギーがゼロの状態にある時の最低のエネルギー準位を真空準位 (E_{vac}) と定義します。

文3・E_{vac}を定義すると図のように電子のエネルギー状態を表現することができます。

文4・では、一つ一つの用語を解説します。

文5・まず電子親和力を説明します。

文6・電子親和力とは、基底状態の気体原子に真空中で電子を与え、陰イオンにするとき放出するエネルギーです。

文7・言い換えると、電子が伝導帯のな

S1・ In this section, we will study the energy level of an electron in a crystal.

S2・First, the lowest energy level at which an electron can exist is called the vacuum level (E_{vac}), at which the energy level is zero.

S4・ Next, I will explain several terms.

S5・ The first is electron affinity (EA).

S6・ Electron affinity is the change in energy when an electron is added to a gaseous atom in the ground state in a vacuum to form an anion

S7・ In other word, it is the energy change when an electron enters into the lowest energy level of the conduction

か^{いちばん}で一番エネルギー^{ひく}の低い、伝導帯^{でんどうたい}
か^{かたん}たん^{はい}下^{はい}端^{とき} (ECBM) に入^{はっせい}る時^{はっせい}に発生^{はっせい}するエネ
ルギーです。

文 8 ・つまり、真空^{しんくう}準^{じゆん}位^い (E_{VAC}) から伝導帯^{でんどうたい}
か^{かたん}たん^{はぼ}下^{でん}端^{しん}の幅^{しん}が電子親和力^{しんわりよく}になります。

文 9 ・状態^{じょうたい}の变化^{へんか}は放出^{ほうしゆつ}するエネルギー
が大きい系^{おお}に進^{けい}みます。

文 10 ・つまり、電子親和力^{でんししんわりよく}が大きいほど
電子^{おお}を受け取^{おお}って陰イオン^{いん}になりや
すいことを意味^いします。

文 11 ・次に仕事関数^{しごとかんすう}を説明^{せつめい}します。

文 12 ・仕事関数^{しごとかんすう}とは物質表面^{ぶつしつひやうめん}において
表面^{ひやうめん}から 1 個^この電子^{でんし}を真空中^{しんくうちゆう}に取
り出す^だのに必要^{ひつよう}な最小^{さいしゆう}エネルギー
のことです。

文 13 ・つまり絶対零度^{ぜったいれいど}における電子放出^{でんしほうしゆつ}
のためのエネルギーであり、絶対
零度^{れいど}において電子^{でんし}が存在^{そんざい}できる最大^{さいだい}
エネルギーがフェルミ準位^{じゆんい}である
ので、仕事関数^{しごとかんすう}は $E_F - E_{VAC}$ で表^{あらわ}す
ことができます。

文 14 ・最後にイオン化ポテンシャル^{さいご}を
説明^{せつめい}します。

文 15 ・イオン化ポテンシャル^{さいご}とは基底^{きてい}
状態^{じょうたい}にある気体状^{きたいじやう}の原子^{げんし}から真
空中^{くうちゆう}で電子^{でんし} 1 個^こを取り除^{のぞ}いて陽イオ
ンにするのに必要^{ひつよう}なエネルギーをい
います。

文 16 ・電子^{でんし}は価電子帯^{かでんし}の最^もも高^{たか}い軌道^{きどう}か
ら引き抜^ひかれます。

文 17 ・よってイオン化ポテンシャル^{さいご}は
 $E_{VBM} - E_{VAC}$ で表^{あらわ}されます。

文 18 ・そしてその値^{あたい}が小さいほどその
原子^{げんし}の価電子帯上端^{かでんし} (E_{VBM}) のエネルギー

band.

S8 ・ Electron affinity is the difference
between the vacuum level and the
lowest energy level of the conduction
band.

S9 ・ A change of state occurs in the system,
in which the energy released is
larger.

S10 ・ In other words, for larger electron
affinity, it is easier to form an anion
by addition of an electron.

S11 ・ Next, I explain the work function.

S12 ・ The work function is the lowest
energy necessary to extract an
electron from the surface of a
material surface into a vacuum.

S13 ・ In other words, it is the energy
required to release an electron at
absolute zero. The Fermi level is the
maximum energy level at which an
electron can exist at absolute zero. So,
the work function can be expressed
as $E_F - E_{VAC}$.

S14 ・ Finally, I will explain ionization
potential.

S15 ・ Ionization potential is the energy
required to extract an electron from a
gaseous atom in the ground state in a
vacuum to form a cation.

S16 ・ In this case, the electron is extracted
from the highest energy level of the
valence band.

S17 ・ Consequently, ionization potential
can be expressed $E_{VBM} - E_{VAC}$.

S18 ・ For lower ionization potential, the
energy of the highest energy level of

が高いために電子が抜けやすく、陽イオンになりやすいことを意味します。

the valence band top is higher and the electron can be extracted more easily. This means that it is easier to form a cation.

キーワード(Key words)

- ・真空準位 ・電子親和力 ・基底状態 ・陽イオン ・陰イオン ・仕事関数
- ・イオン化ポテンシャル

関連用語(Related terminologies)

- ・励起状態 (れいきじょうたい) :excited state
- ・光電効果 (こうでんこうか) :photoelectric effect

日本語解説

文2 「真空」:ほんとうに「空(empty)」であることを表します。

文11 「仕事」:一般的には、生活するための職業(occupation)のことです。また、何かをつくりだすための行動(activities)のことです。

文18 「上端」:「端」は、「端」と読みます。中心(center)から一番遠い(far)ところです。上下方向では、「上端」と「下端」です。

文1・この項では半導体の電気伝導について勉強します。

文2・半導体は不純物を含まない真性半導体と不純物を含む不純物半導体に分けることができます。

文3・ここで不純物半導体について勉強します。

文4・高純度のSiにごく微量のAs(ヒ素)やB(ホウ素)などの不純物を混入し、Siと置換させたらどうなるでしょうか？

S1・ In this section, we will study electrical conduction in a semiconductor.

S2・ Semiconductors can be categorized as intrinsic semiconductor, which do not have impurities, and extrinsic semiconductor, which have impurities.

S3・ First, we will discuss extrinsic semiconductor.

S4・ Let us consider what will happened when a Si atom in the Si crystal is replaced by substitution of an impurity, for example, an As atom or a B atom.

文5・Siの4価に対して価電子数の多い5価のAsを置換させると、周りの4つのSi原子と共有結合しても1個の電子が余ります。

文6・この電子は比較的自由に動くことができます。

文7・これをバンド図で示すと、価電子帯はすでに電子で満たされており、1価余った電子は原子核から離れやすい状態になっています。(図左)

文8・この準位の電子は簡単に励起され伝導帯に電子を与えるのでドナー準位といいます。

文9・この電子がおもなキャリアとなる半導体をn型半導体といいます。

文10・一方、逆に価電子数の少ない3価のBを添加した場合を考えてみましょう。

文11・このBがとなりあうSi原子と共有結合すると、結合を完成させるには電子が1個足りません。

文12・ここで他の電子を引き付けようとする力が働きます。

文13・この電子の移動に要するエネルギーは伝導帯への励起よりかなり小さくなります。

文14・そして電子の移動によりB原子は負に帯電し、電子が移動した後は正孔が形成します。

S5・The Si atom, which is quadrivalent, is replaced with a quinquevalent As atom, which has higher valence. Consequently, there is one extra electron, even if As forms covalent bonds with five neighboring Si atoms.

S6・This extra electron can move relatively freely.

S7・Showing this on a band diagram, valence band is filled with electrons and the extra electron is in a state from which it can easily enter the conduction band (Fig. 2 left).

S8・The electron in this energy level is excited easily to the conduction band. So, this energy level is called the donor level.

S9・A semiconductor in which electrons are the main charge carriers is called an n-type semiconductor.

S10・In contrast, let us consider the case of doping with a trivalent B atom with low valence.

S11・When the B atom forms covalent bonds with neighboring Si atoms, it is one electron short for complete bonding.

S12・As a result, the boron atom attracts other electrons.

S13・The energy necessary for electrons motion is considerably lower than the excitation energy for the transition to the conduction band.

文15・この正孔も比較的自由に動き回ることが出来ます。

文16・これをバンド図で表すと、この電子の不足した状態の準位はアクセプター準位といます。(図右)

文17・ここへ価電子帯の電子が飛び込むと価電子帯に正孔が生じます。

文18・この正孔が主なキャリアとなる半導体をp型半導体といます。

S14・Upon gaining an electron, the B atom becomes negatively charged. Conversely, after transfer of an electron to the B atom, a hole is formed.

S15・This hole can move relatively freely, too.

S16・Showing this on a band diagram, the energy level in which electrons are absence is called the acceptor level.

S17・When an electron of the valence band transitions into the acceptor level, a hole is formed in the valence band.

S18・A semiconductor in which holes are the main charge carriers is called a p-type semiconductor.

キーワード(Key words)

・真性半導体 ・不純物半導体 ・ヒ素 ・ホウ素 ・原子核 ・ドナー準位
・キャリア ・n型半導体 ・アクセプター準位 ・p型半導体

関連用語(Related terminologies)

・格子欠陥(こうしけつかん) : lattice defect ・導電率(どうでんりつ) : conductivity
・比抵抗(ひていこう) : resistivity ・移動度(いどうど) : mobility
・キャリア濃度(きやりあのうど) : carrier concentration

日本語解説

文1 「伝導」: 「伝」は、「伝える(to convey)」という読み方があります。

例: よろしくお伝えください。Please give my best regards to ~.

「導」は、「導く」とも読み、正しい方向(right direction)につれていくことです。

例: 指導教員 academic adviser

文2 「純」: ”pure” という意味です。

文4 「高純度」: 「純度」は、「純粋さ(purity)」の程度(degree)のことです。

文5 「余る」: 使わないで残る(remain)ことです。「余り」は、割り算(division)で残ったもの(residue)という意味でも使います。

文9 「キャリア」: 「運ぶ」ということばが”to carry”です。ここでは、「運ぶもの」です。

文1・最後にこれまでの学習をまとめます。

文2・まず、原子中で電子は離散的なエネルギー準位に存在します。

文3・その電子のエネルギー状態はs軌道、p軌道、d軌道などの各軌道によって異なります。

文4・電子配置は、電子が一番安定な状態を取るように、組み立ての原理、パウリの排他原理、フントの規則に従って決定されます。

文5・次に結晶は原子が三次元的にたくさん集まってできています。

文6・その結合には最外殻の電子が関与し、原子軌道が重なり、分子軌道ができます。

文7・そして分子軌道は核に対して外側と

S1・Finally, we let us review the topics we have discussed in this class.

S2・First, electrons in an atom exist at discrete energy levels.

S3・The energy levels of electrons differ between each orbital: s orbital, p orbital, d orbital and so on.

S4・The electron configuration is governed by the Pauli exclusion principle, the Aufbau principle and Hund's rule.

S5・Second, a crystal consists of many atoms arranged in three dimensions.

S6・Valence electrons participate in the bonding. When bonding occurs, atomic orbitals are combined to form molecular orbitals.

内側でエネルギーが異なるため幅をもち、価電子帯と伝導帯が存在します。

文 8 ・ このバンド構造は原子同士の相互作用によってきまる固有のもので、その中で電子は連続的なエネルギー状態をとります。

文 9 ・ バンドギャップが存在しない場合、結晶は金属であり、大きいものは絶縁体、小さいものは半導体になります。

文 10 ・ このように結晶の物性はバンド構造に大きく起因します。

S7 ・ When many atoms are present in the crystal, the molecular orbitals have a nearly continuous range of energy values, because of the difference in energy between external orbitals and internal orbitals. There are valence band and conduction band.

S8 ・ This band structure which made of interaction between atoms is specific . The electrons in the band structure are at the continuous energy level.

S9 ・ When there is no band gap, a crystal is metal. And if band gap is large, a crystal is semiconductor. But if band gap is small, a crystal is insulator.

S10 ・ As seen above, the properties of a crystal have roots in band structure.

にほんごかいせつ 日本語解説

文 2 「離散的」: 「離」は、「離れる (to separate)」とも読みます。反対のことばは、「連続的 (continuous)」です。

文 10 「物性」: 物理的な (physical) 性質 (property) ということです。

