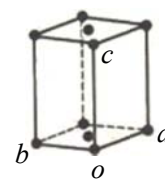
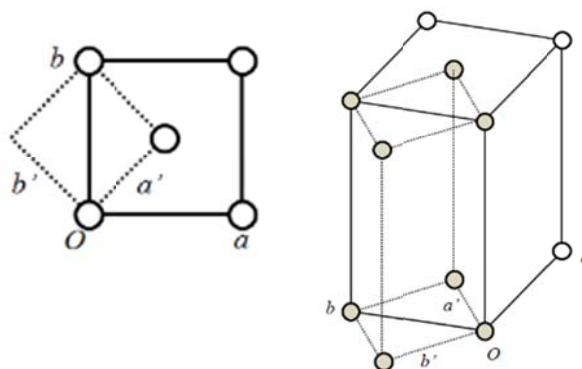


- (1) 正方格子が最低限持っている対称性は、4 回回転軸あるいは 4 回反軸であり、格子は $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ を満たす。また一般的に特定の格子に対して、並進対称性を満たすものとして単純格子、底心格子、体心格子、面心格子の 4 種類を想定することができる。このことを前提とした上で、もし正方底心格子があるならば、右図のように、格子の各頂点と、 a, b が作る面の中央およびその対面中央に等価な点が存在するが、実際にはブラベ格子では正方底心格子は存在しない。その理由を図を用いて説明せよ。(15 点)



仮に正方底心格子が存在したとしても、右図 (左) に描いたように、底心面 (図の a - b 軸でできる面) に対して、 a', b' となるような軸を取り、 c 軸は共通とするならば、4 回回転軸を持ち、 $a' = b' \neq c, \alpha' = \beta' = \gamma' = 90^\circ$ となるような、並進対称性を満たす格子構造 (右図 (右) の色のついた原子による格子) が存在する。これは正方単純格子の条件と同一であり、正方底心格子を独立に定義しなくても正方単純格子を定義しておけばよいということになる。



- (2) 真性半導体であるケイ素単結晶は、そのままでは非常に電気抵抗が大きく、実用的な半導体とは言えないが、現代のテクノロジーではケイ素系半導体が実際には多く使用されている。ケイ素半導体を実用的な半導体とするための方法を説明せよ。(10 点)

ケイ素の単結晶は $10^5 \Omega\text{cm}$ 程度 (金、銀、銅は $10^{-6} \Omega\text{cm}$ 程度) と非常に抵抗率が高いが、不純物を混入させることで不純物準位を形成し、バンドギャップの小さな状態を作ることができる。Si よりも価電子数が小さなホウ素などを混ぜると正孔が、大きなリンなどをまぜると電子が新たな電荷担体として導入され、それらが伝導性を担うために実用的な半導体素子を形成することができる。

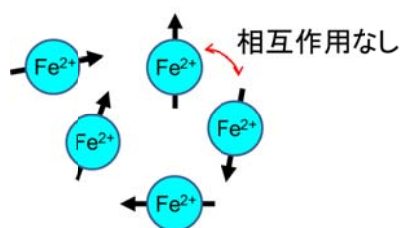
- (3) 一般的に「磁石」と呼ばれるものは、物質全体にわたり自発的に磁化が生じている。反磁性体、常磁性体、強磁性体、反強磁性体の内、通常「磁石」とは呼ばれないが、ミクロに見た場合には原子、あるいは分子などの構成成分がスピンを持っているものを 2 種類選び、その 2 種類各々がいわゆる「磁石」にならない理由を、図を用いて説明せよ。(15 点)

通常、「磁石」と呼ばれるのは、使用する条件で自発磁化が生じているものを指し、上記の分類でいうと強磁性体を指す。残りは通常は「磁石」とは呼ばれないが、そのうち個々の原子や分子といった構成成分がスピンを持つのは常磁性体と反強磁性体である (反磁性は電子の軌道運動などに由来し、電子スピンとは関係ない)。

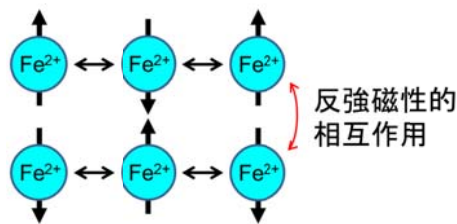
常磁性体が磁場をかけないと磁化しない (「磁石」にならない) 理由は、個々のスピン間に相互作用が無く、スピンの配列を促す作用が働かないため、全体としてはランダムな方向を向いたスピンの集団とな

って磁化を発生しない。

一方の反強磁性体は、個々のスピン間にはその向きを互いに反対向きにそろえる作用が働くため、全体として交互に配向し、全体としてはやはり磁化を発生しなくなる。



常磁性体のスピン状態



反強磁性体のスピン状態

(4) (ア)～(オ)に当てはまる用語を選択肢から選び、正しい文を完成させ「(ア)圧電体」のように解答せよ。(15 点)

「誘電体は、電気伝導性の観点からは (ア) であり、自発的に、あるいは外部電場に対して (イ) を生じる物質である。(イ) が発生する原因としては、原子内の電子分布が原子核に対して変位することによる電子分極、正負の電荷を持つイオンが互いに相対的に変位することによるイオン分極、分子配向の整列による (ウ) などがあるが、電子分極の交流電場応答は他の分極と比べると (エ) 周波数で起こる。外部電場が無くても自発的に分極を示す物質はチタン酸バリウムなど多数知られているが、特に外部電場の向きを変えると極性を反転できる誘電体を特に (オ) と呼ぶ」(15 点)

用語：圧電体、強誘電体、金属、磁気分極、焦電体、常誘電体、正電荷、双極子分極、絶縁体、高い、超伝導体、電気分極、同程度の、低い、負電荷

「誘電体は、電気伝導性の観点からは (ア) 絶縁体 であり、自発的に、あるいは外部電場に対して (イ) 電気分極 を生じる物質である。(イ) 電気分極 が発生する原因としては、原子内の電子分布が原子核に対して変位することによる電子分極、正負の電荷を持つイオンが互いに相対的に変位することによるイオン分極、分子配向の整列による (ウ) 双極子分極 などがあるが、電子分極の交流電場応答は他の分極と比べると (エ) 高い 周波数で起こる。外部電場が無くても自発的に分極を示す物質はチタン酸バリウムなど多数知られているが、特に外部電場の向きを変えると極性を反転できる誘電体を特に (オ) 強誘電体 と呼ぶ」

なお、試験本番では(ウ)の「双極子分極」を用語の中に書き落としたため、該当しない場合は「該当なし」とせよと指示したが、過去問の解答例作成にあたって、本来の問題に戻した。

(5) 近年、実験室系での強磁場発生には超伝導磁石が用いられるが、利用可能な超伝導体は第一種超伝導体と第二種超伝導体のいずれが適切か、各々の特徴と共に説明せよ。(10 点)

超伝導状態は強力な磁場で破壊されてしまうが、超伝導磁石でも自分自身が発生した磁場で超伝導が破れてしまう。第一種超伝導体は比較的低い磁場で突然超伝導状態を失うが、第二種超伝導体は渦糸構造を作ってかなり高磁場まで超伝導状態を保つことができる。このような性質により、超伝導磁石に用いられる超伝導体は第二種超伝導体が適切である。