問１　次の文章中の (a)～(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

量子力学では物質は粒子と波の二重の性質を持っていると考えられている．粒子性と波動性の関係はド・ブロイの関係としてよく知られており，波長 λ は運動量 p とプランク定数 h によって，λ ＝（　a　）であらわされる．粒子の運動量 p は質量 m と速度 v によって，p ＝（　b　）であり，一方，光の運動量は p ＝（　c　）である．ここで，ν は光の振動数，c は光速である．

1. (a) h/p ,　(b) mv^2 ,　(c) $h\nu^2/c^2$
2. (a) h/p ,　(b) mv^2 ,　(c) $h\nu/c$
3. (a) h/p ,　(b) mv ,　(c) $h^2\nu/c$
4. (a) h^2/p ,　(b) mv ,　(c) $h\nu/c$
5. (a) h/p ,　(b) mv ,　(c) $h\nu/c$

問２　次の文章中の (a)～(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

物質の運動量と物質波の波数は一対一の関係にあり，両者はベクトル表示が出来る．波数の大きさが $2\pi/\lambda$ なので，運動量ベクトル $\boldsymbol{p}$ と波数ベクトル $\boldsymbol{k}$ の関係は $\boldsymbol{p}$ ＝（　a　）となり，波の進行方向と運動の方向は等しいことがわかる．

電子回折や電子顕微鏡で使われる電子線の波長とエネルギーの関係は相対論を考慮しなければ，エネルギー E を eV で表し，波長を Å であらわすと，λ ＝（　b　）である．また光の波長とエネルギーの関係は λ ＝（　c　）である．

1. (a) $h^2\boldsymbol{k}/2\pi$,　(b) $150.4/E$,　(c) $1.24\times10^4/E^2$
2. (a) $h^2\boldsymbol{k}/2\pi$,　(b) $(150.4/E)^{1/2}$,　(c) $1.24\times10^4/E^2$
3. (a) $h\boldsymbol{k}/2\pi$,　(b) $150.4/E$,　(c) $1.24\times10^4/E$
4. (a) $h\boldsymbol{k}/2\pi$,　(b) $(150.4/E)^{1/2}$,　(c) $1.24\times10^4/E$
5. (a) $h\boldsymbol{k}/2\pi$,　(b) $(150.4/E)^{1/2}$,　(c) $1.24\times10^4/E^2$

問３　X 線の波長（λ nm）とエネルギー（E eV）の関係を表す式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．（プランク定数 $h = 6.62\times10^{-34}$ J・s，光速度 $c = 3.00\times10^8$ m，素電荷 $q = 1.60\times10^{-19}$ C）

1. $\lambda=1.24\times10^{-2}/E$，2. $\lambda=1.24/E$，3. $\lambda=1.24\times10^3/E$，4. $\lambda=1.24\times10^{-2}/E^{1/2}$，5. $\lambda=1.24/E^{1/2}$

問４ ド・ブロイによれば電子の運動量（ p ）と波長（ λ ）の間には $\lambda = h/p$（ここで h はプランク定数）の関係がある．電子のド・ブロイ波長（ λ nm）とエネルギー(E eV)の関係を表す式はどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．ただし相対論的な補正を考えないとする（プランク定数 $h = 6.6\times10^{-34}$ J・s，素電荷 $q = 1.6\times10^{-19}$ C，電子質量 $m = 9.1\times10^{-31}$ kg）．

1. $\lambda=1.2\times10^{-2}/E$,　2. $\lambda=1.2/E$,　3. $\lambda = 1.2\times10^{3}/E$,　4. $\lambda=1.2\times10^{-2}/E^{1/2}$,　5. $\lambda =1.2/E^{1/2}$

問５ ド・ブロイによればすべての物質は波としての性質を持つ．He（ヘリウム）原子のド・ブロイ波長（ λ nm）と He 原子のエネルギー（E eV）の関係を表す式はどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．ただし，相対論的な補正を考えないとする．（プランク定数 $h = 6.6\times10^{-34}$ J・s，He 原子量 $M = 4.0$，アボガドロ数 $N_A = 6.0\times10^{23}$ /mol）

1. $\lambda=1.4\times10^{3}/E$,　2. $\lambda=1.4/E$,　3. $\lambda=1.4/E^{1/2}$,　4. $\lambda=1.4\times10^{-2}/E^{1/2}$,　5. $\lambda=1.4\times10^{-2}/E$

問６ 電子の波長は相対論的補正を考慮しない場合，$\lambda = (h^2/2meV)^{1/2}$ で表される．ここで h はプランク定数（6.6×10^{-34} J・s），m は電子の質量（9.1×10^{-31} kg），e は電子の電荷（1.6×10^{-19} C），V は加速電圧である．透過電子顕微鏡で用いられる 100 kV の加速電圧における電子線の波長に近いものは次のうちどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

1. 0.0012 nm,　2. 0.0038 nm,　3. 0.0054 nm,　4. 0.012 nm,　5. 0.038 nm

問７ 次の文章中の (a)～(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

原子は原子核と（ a ）から構成されている．元素を同定するとは，原子核を構成する（ b ）の数を決めることである．電子は近似的には他の電子により遮蔽された原子核からの（ c ）による中心力場中で運動していると考えられる．

1. (a) 陽子,　(b) 中性子,　(c) クーロン力
2. (a) 中性子,　(b) 中間子,　(c) 重力
3. (a) 電子,　(b) 陽子,　(c) クーロン力
4. (a) 電子,　(b) 陽子,　(c) 重力
5. (a) 陽子,　(b) 陽子,　(c) クーロン力

問８　下記の文章中の (a)〜(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

原子は原子核と電子から構成されている．電子のエネルギー準位は（　a　），方位量子数，磁気量子数，スピン量子数により決まる状態をとる．（　a　）の等しい状態のエネルギーは接近しており，元素特有の（　b　）を形成する．最外殻の電子は空間的に広がっているので，隣接した原子の距離が近づくと，近接した原子のポテンシャルの影響を受け相互に混ざり合い，原子間の化学結合あるいはエネルギーバンドの形成に寄与する．これに対して，（　c　）の準位は元素の化学的状態に大きく影響されることなく，元素固有の値をとる．

1. (a) 回転量子数,　(b) 結合状態,　(c) 内殻
2. (a) 主量子数,　(b) 殻構造,　(c) 核
3. (a) 回転量子数,　(b) 殻構造,　(c) 中間殻
4. (a) 主量子数,　(b) 結合状態,　(c) 内殻
5. (a) 主量子数,　(b) 殻構造,　(c) 内殻

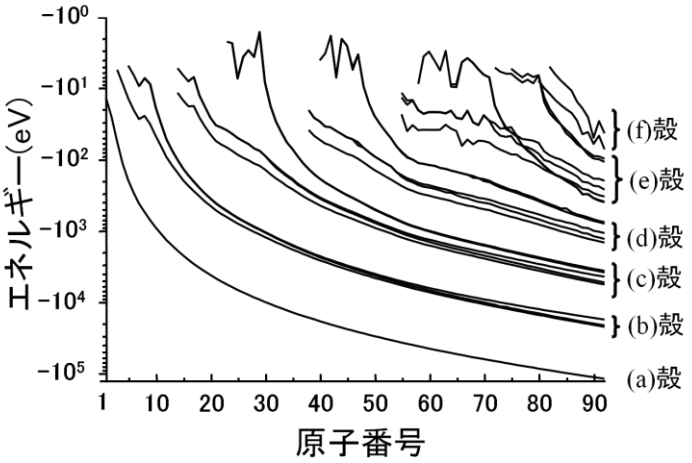
問９　次の文の (a)〜(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

原子は原子核と電子から構成されている．原子核の周りの電子のエネルギー準位は n, l, m, s により指定される離散的な値を持つ．n は（　a　），l は方位量子数，m は磁気量子数であり，量子数 $n > 0$，$0 \leqq l < n$，$|m| \leqq l$ の条件を満たす整数のみが許容される．s は（　b　）と呼ばれ ±1/2 の値をとる．水素原子では，電子の束縛エネルギーは n のみに依存し，n が増加するに従い束縛エネルギーの値は 0 に近づき，$n = \infty$ で 0 となる．複数の電子がある原子の場合，電子間のクーロン反発およびスピン軌道相互作用により，同じ n を持つ電子であっても束縛エネルギーは l と s の組合せにより異なる値をとる．電子は束縛エネルギーの大きな軌道から（　c　）に従って順次詰まってゆく．

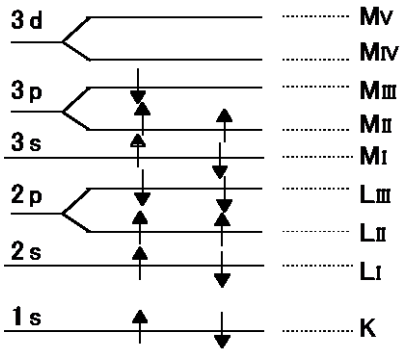
1. (a) 主量子数,　(b) スピン量子数,　(c) パウリの原理
2. (a) 主量子数,　(b) 回転量子数,　(c) パウリの原理
3. (a) 主量子数,　(b) スピン量子数,　(c) フント則
4. (a) 軌道量子数,　(b) 回転量子数,　(c) パウリの原理
5. (a) 軌道量子数,　(b) 回転量子数,　(c) フント則

問１０　原子は原子核と電子から構成されている．電子のエネルギー準位の原子番号依存性を右図に示す．電子のエネルギー準位は主に主量子数により決まり，方位量子数，磁気量子数，スピン量子数の違いによるエネルギー差はそれ程大きくない．下図の(a)～(f)は主量子数 1～6 までの殻準位を表す．(a)～(f)に入る記号として正しいのはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

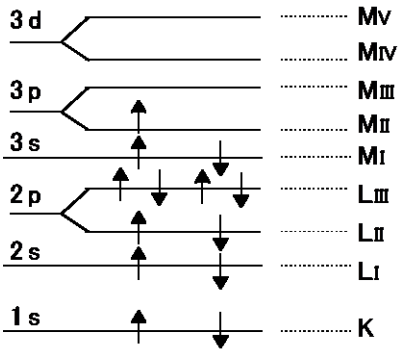
	(a),	(b),	(c),	(d),	(e),	(f)
1.	*s,*	*p,*	*d,*	*e,*	*f,*	*g*
2.	S,	P,	D,	E,	F,	G
3.	A,	B,	C,	D,	E,	F
4.	K,	L,	M,	N,	O,	P
5.	L_1,	L_2,	L_3,	L_4,	L_5,	L_6



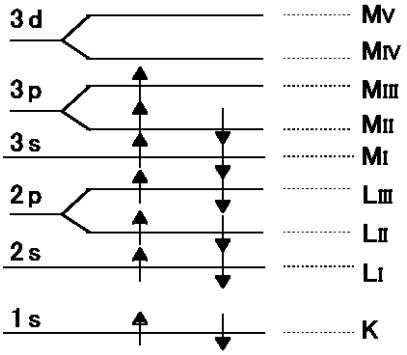
問１１　下図で，原子番号 13 の Al（アルミニウム）原子の基底状態電子配置として適切なものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．



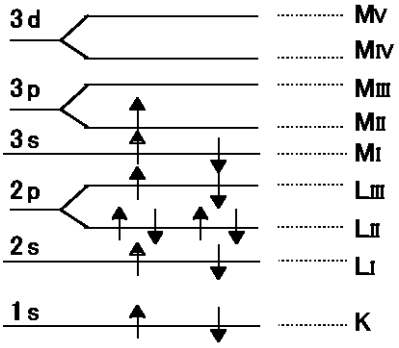
(1)



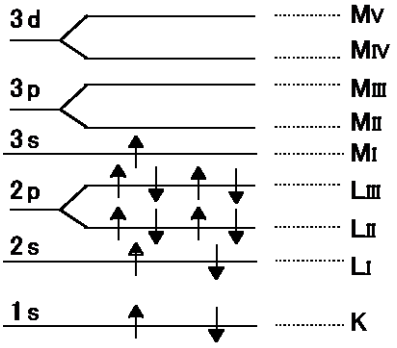
(2)



(3)



(4)



(5)

問１２　物質の状態について適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 平衡状態において複数の相が混在している系では，相間の化学ポテンシャルは等しい．

(b) 平衡状態において複数の相が混在している系では化学ポテンシャルは相によって異なる．

(c) 平衡状態からずれると化学ポテンシャルの低い相から高い相に粒子が移動して平衡状態に近づく．

(d) 平衡状態からずれると化学ポテンシャルの高い相から低い相に粒子が移動して平衡状態に近づく．

(e) 平衡状態における気体と固体の界面において，固体から脱離する粒子の数と気体から固体に吸着する粒子の数は等しい．

(f) 気体と固体の界面において，平衡状態では固体中から気体中への粒子の移動が多い．

1. (a) (f),　2. (b) (e),　3. (b) (f),　4. (a) (c) (e),　5. (a) (d) (e)

問１３　以下の文章中の (a)～(f) にそれぞれ選択肢 (i)～(iii) がある．適切な選択肢の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

異なる金属からなる平板 A，B の仕事関数に $\phi_A > \phi_B$ の関係がある．この２枚の金属平板を導体の線でつなぐと A は（　a　），B は（　b　）．また，導線でつないだ状態のまま２枚の金属平板間の距離を 1 nm 以下に近づけていくと両者の間には（　c　），また，（　d　）．さらに，B に対して A に負の電圧をかけたまま２枚の金属平板間の距離を 1 nm 以下に近づけていくと，電圧をかけない場合と比較して，両者の間に（　e　），（　f　）．

(a) (i) 正に帯電し，　(ii) 負に帯電し，　(iii) 中性のまま

(b) (i) 正に帯電する，(ii) 負に帯電する，(iii) 中性のままである

(c) (i) 引力が働き，　(ii) 斥力が働き，　(iii) 力は働かず

(d) (i) A から B にトンネル電流が流れる，(ii) B から A にトンネル電流が流れる，(iii) トンネル電流は流れない

(e) (i) より大きな引力が働き，(ii) より大きな斥力が働き，(iii) 働く力が相殺され

(f) (i) A から B に電子がトンネルする，　(ii) B から A に電子がトンネルする，(iii) 電子のトンネル過程は起らない

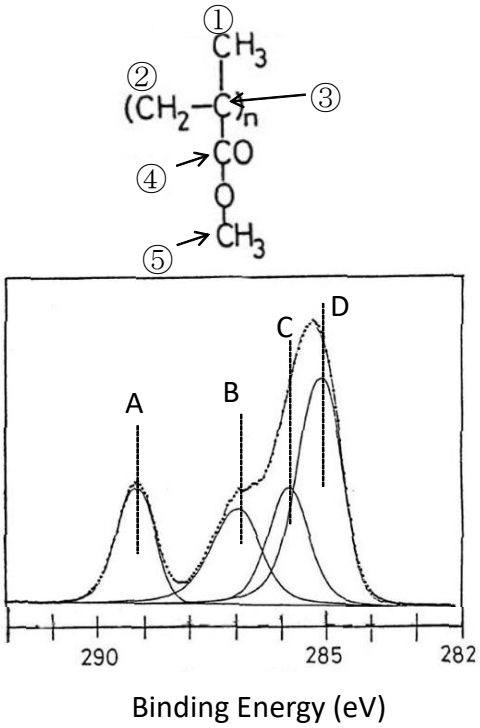
1. (a) -(ii),　(b) -(i),　(c) -(i),　(d) -(iii),　(e) -(i),　(f) -(i)
2. (a) -(i),　(b) -(ii),　(c) -(i),　(d) -(ii),　(e) -(iii),　(f) -(iii)
3. (a) -(ii),　(b) -(i),　(c) -(i),　(d) -(i),　(e) -(ii),　(f) -(iii)
4. (a) -(iii),　(b) -(iii),　(c) -(iii),　(d) -(iii),　(e) -(i),　(f) -(ii)
5. (a) -(i),　(b) -(i),　(c) -(ii),　(d) -(ii),　(e) -(iii),　(f) -(i)

問１４　以下の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

金属の表面に吸着した双極子をもつ分子の振動は赤外活性となり得るが，すべての振動モードが観測される訳ではない．金属上に置かれた電荷に対して金属内にみかけの鏡像電荷が生じるので，電気双極子に対しては金属内に鏡像電荷によるみかけの電気双極子が生じる．表面に吸着した分子の電気双極子と金属内のみかけの電気双極子の向きは，表面法線方向を向いた電気双極子の場合は（　a　）であるのに対し，表面平行方向を向いた電気双極子の場合は（　b　）である．よって，分子に比べて波長の長い赤外光からみると前者の場合は実効的な双極子が（　c　）のに対し，後者では（　d　）．よって，赤外光を入射させて観察可能な振動モードは電気双極子が（　e　）を向いたものである．

1. (a) 反対向き，(b) 同じ向き，(c) 2 倍になる，　(d) 相殺される，　(e) 表面平行方向
2. (a) 同じ向き，(b) 反対向き，(c) 相殺される，　(d) 2 倍になる，　(e) 表面平行方向
3. (a) 反対向き，(b) 同じ向き，(c) 相殺される，　(d) 2 倍になる，　(e) 表面法線方向
4. (a) 同じ向き，(b) 反対向き，(c) 2 倍になる，　(d) 相殺される，　(e) 表面法線方向
5. (a) 反対向き，(b) 同じ向き，(c) 2 倍になる，　(d) 相殺される，　(e) 表面平行方向

問１５　右図のポリマー分子の C1s 領域の光電子スペクトルを右下図に示す．分子中の番号を付した炭素はそれぞれ A〜D のどのピークに帰属されるか．適切な組合せを下の 1〜5 の番号で答えなさい．



	①	②	③	④	⑤
1.	B	B	C	A	D
2.	A	B	C	D	D
3.	C	D	D	B	A
4.	D	D	C	A	B
5.	D	B	A	C	D

問１６　以下の問 (a)～(d) の答えとして，適切な選択肢の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 仕事関数がそれぞれϕ_A, ϕ_B（$\phi_A > \phi_B$）の２種類の金属板Ａ，Ｂに，同じ波長の光を照射して電子を放出させた．放出される電子の運動エネルギーの最大値が大きいのはどちらの金属板から放出されるものか．

(b) 電気的に中性な金属の表面にも電気二重層が生じる．電気二重層のうち，外部から見て物質の外側にはどちらの電荷があるか．

(c) ステップをもたない平坦な表面と，多数のステップをもつ微傾斜表面ではどちらが仕事関数が小さいか．

(d) 電気陰性度の高い酸素原子が吸着すると，金属表面の仕事関数は大きくなるか，小さくなるか．

1. (a) 金属板 B，(b) 正の電荷，(c) 平坦面，　(d) 小さくなる
2. (a) 金属板 B，(b) 負の電荷，(c) 微傾斜面，(d) 大きくなる
3. (a) 金属板 B，(b) 正の電荷，(c) 微傾斜面，(d) 大きくなる
4. (a) 金属板 A，(b) 負の電荷，(c) 平坦面，　(d) 小さくなる
5. (a) 金属板 A，(b) 負の電荷，(c) 微傾斜面，(d) 大きくなる

問１７　表面エネルギー（単位面積当たりのエネルギーを意味する）について適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 表面エネルギーと表面張力は同じものの異なる表現である．

(b) 表面エネルギーはエネルギーであり，表面張力は力なので，本質的に異なる量である．

(c) 面心立方構造の表面の中で，表面エネルギーの一番小さい面は(111)面である．

(d) 面心立方構造の表面の中で，表面エネルギーの一番大きい面は(100)面である．

(e) 体心立方構造の表面の中で，表面エネルギーの一番小さい面は(110)面である．

(f) 体心立方構造の表面の中で，表面エネルギーの一番大きい面は(100)面である．

1. (a) (c) (f),　2. (b) (c) (f),　3. (b) (c) (e),　4. (a) (c) (e),　5. (b) (d) (f)

問１８　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

結晶表面を原子レベルで観察すると，理想的な平坦面でなく，（　a　）や（　b　）などが存在する．また原子レベルで階段状になった（　c　）や（　d　）が存在する．（　c　）も完全な直線にはなっておらず，（　e　）と呼ばれる原子の配位数がさらに低下した部分が存在し，そのような部分で化学反応性，触媒活性など，表面の反応性が高まる場合がある．

1. (a) 非平坦点，(b) 吸着原子，(c) ステップ，(d) キンク，(e) テラス
2. (a) 凸点，(b) 拡散原子，(c) 段階線，(d) テラス，(e) 活性点
3. (a) 格子欠陥，(b) 吸着原子，(c) ステップ，(d) テラス，(e) キンク
4. (a) 格子欠陥，(b) 非平坦点，(c) 段階線，(d) キンク，(e) ステップ
5. (a) 凹点，(b) 余剰原子，(c) ステップ，(d) キンク，(e) 低配位点

問１９　⇒　欠番（削除）

問２０　次の金属表面の酸化について適切な記述の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

(a) 空気中には水や酸素が含まれているから，固体表面は酸化される．
(b) 酸化の顕著な例は金属表面において起こる．その結果，大気下にあるほとんどの金属表面にはきわめて薄い酸化膜ができる．
(c) 自己保護膜と呼ばれる膜の厚みは原子の 100 倍程度で，金属光沢は失われている．
(d) 酸化膜が厚くなるに従って成長速度は遅くなり，水分を含まない大気下の純鉄の場合で 20 nm あたりが限界である．
(e) 酸化膜の成長速度は，時間に対して一定ではない．

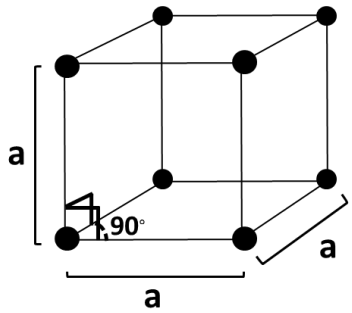
1. (a) (b) (c),　2. (a) (b) (e),　3. (a) (d) (c),　4. (b) (d) (e),　5. (c) (d) (e)

問２１　真空中の結晶表面について適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

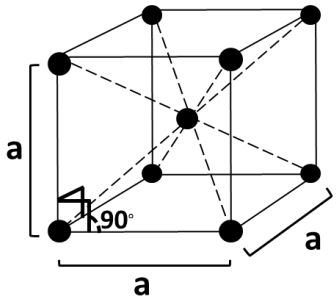
(a) 表面原子が異種原子と結合することをダングリングボンドと呼ぶ．
(b) 表面電子準位に起因する表面電気伝導現象がある．
(c) 結晶表面にある原子と，結晶内部の原子の原子配列は同じである．
(d) ダングリングボンドの存在は，新たな表面準位の形成の原因となる．
(e) 共有結合を有する結晶の場合には，結晶の切断により相手原子との結合が切れて不安定な結合手が生まれることになるので再構成構造ができる．

1. (a) (b) (c),　2. (a) (b) (e),　3. (a) (c) (d),　4. (b) (c) (e),　5. (b) (d) (e)

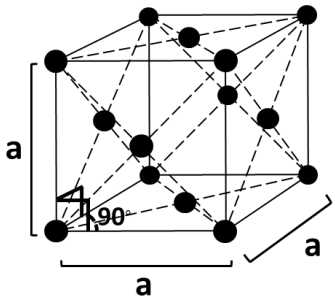
問２２　金属結晶は多くの場合，面心立方構造，体心立方構造，六方最密充填構造のいずれかをとる．下の格子模型で面心立方格子はどれか．1～5 の番号で答えなさい．



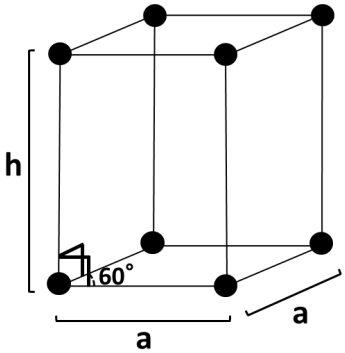
(1)



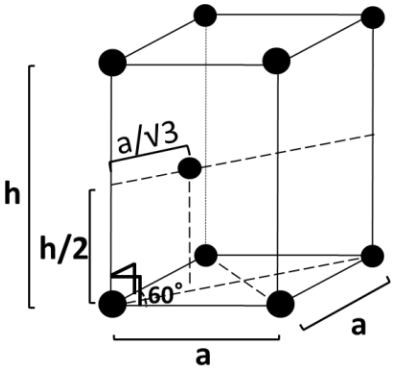
(2)



(3)

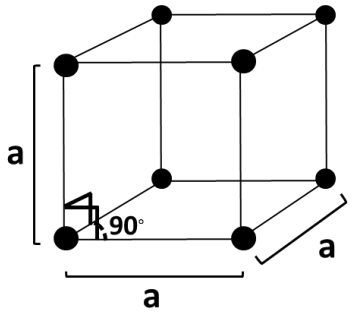


(4)

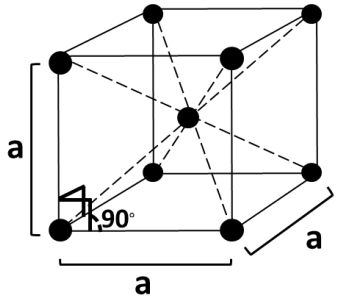


(5)

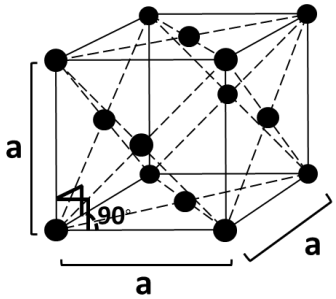
問２３　金属結晶は多くの場合，面心立方構造，体心立方構造，六方最密充填構造のいずれかをとる．下の格子模型で体心立方格子はどれか．1～5 の番号で答えなさい．



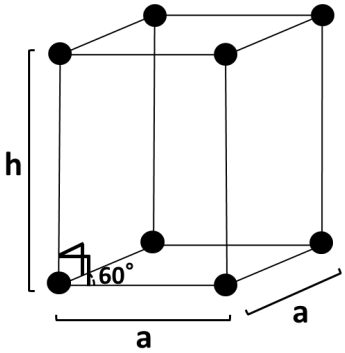
(2)



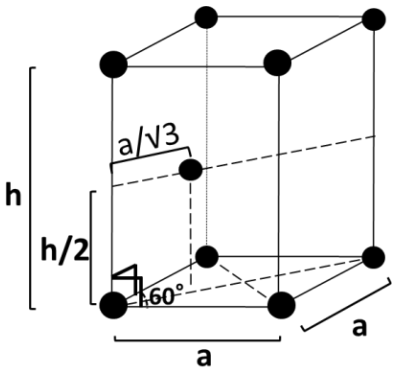
(2)



(3)

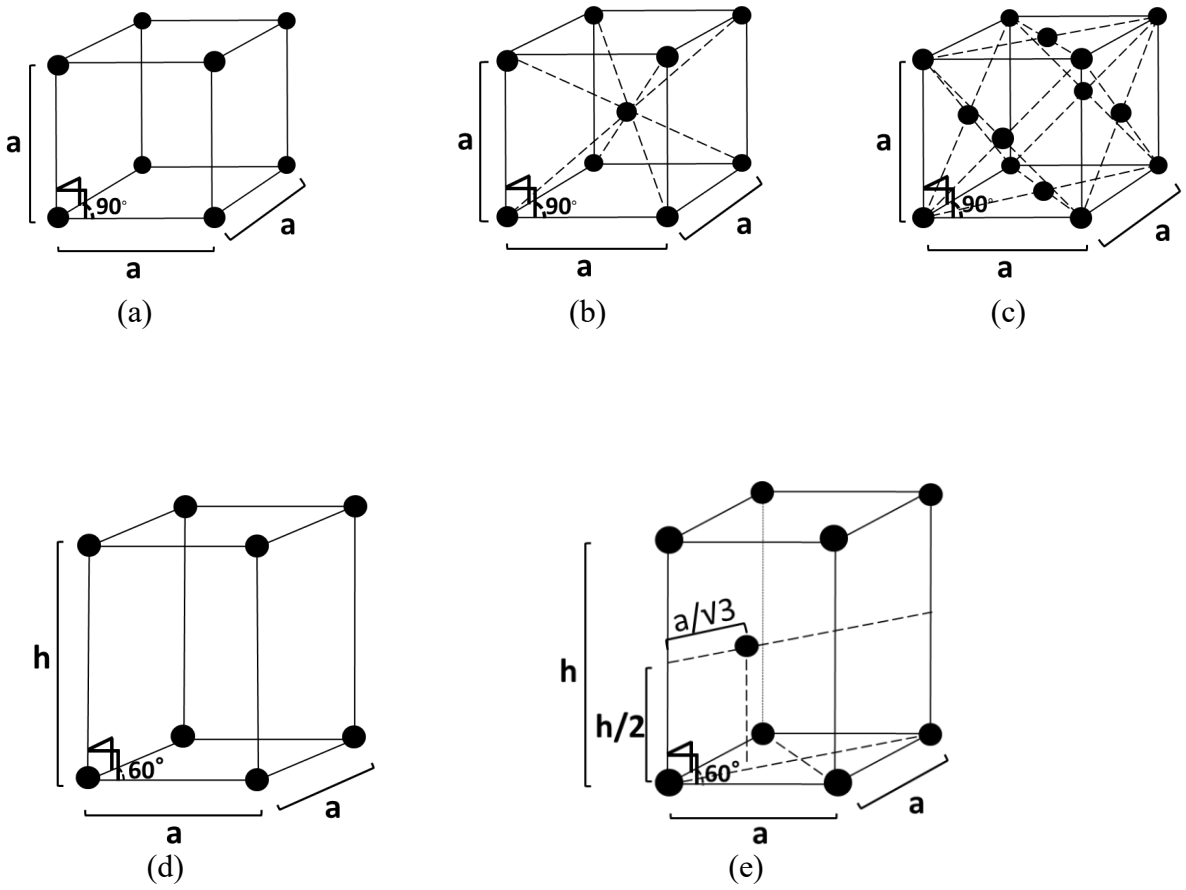


(4)



(5)

問２４　次の格子模型で最密充填構造はどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．



1. (a)(c),　2. (a)(d) ,　3. (b)(d) ,　4. (b)(e) ,　5. (c)(e)

問２５　原子を剛体球であるとする．空間に原子を最も密度高く詰め込んだ構造だけをすべて含むものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 面心立方構造,　2. 体心立方構造,　3. 六方最密充填構造,
4. 面心立方構造と六方最密充填構造,　5. 六方最密充填構造と体心立方構造

問２６ 金は面心立方構造をとる．密度は 19.32 g/cm^3，原子量は 197，A をアボガドロ数とする．最近接原子間距離を表す式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. $\left(\frac{1}{4}\cdot\frac{19.32}{197}\cdot \mathrm{A}\right)^{-1/3}$,　2. $\left(\frac{1}{3}\cdot\frac{19.32}{197}\cdot \mathrm{A}\right)^{-1/3}$,　3. $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\left(\frac{1}{4}\cdot\frac{19.32}{197}\cdot \mathrm{A}\right)^{-1/3}$,

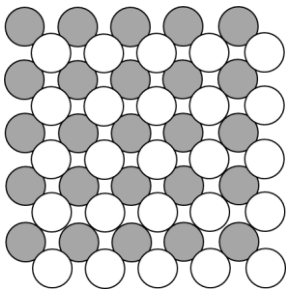
4. $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\cdot\frac{19.32}{197}\cdot \mathrm{A}\right)^{-1/3}$,　5. $\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\cdot\frac{19.32}{197}\cdot \mathrm{A}\right)^{-1/3}$

問２７ 剛体球が最密充填構造をとるときの充填率の式はどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

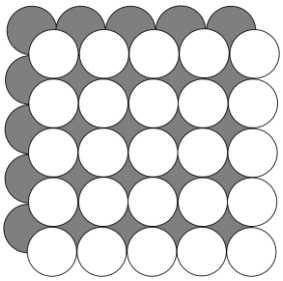
1. $\frac{4}{3}\pi \cdot 16 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{4}\right)^3$, 2. $\frac{4}{3}\pi \cdot 4 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{4}\right)^3$, 3. $\frac{4}{3}\pi \cdot 2 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^3$, 4. $\frac{4}{3}\pi \cdot 16 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3$, 5. $\frac{4}{3}\pi \cdot 4 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3$

問２８　面心立方構造をとる金属結晶の(111)面の原子配列はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

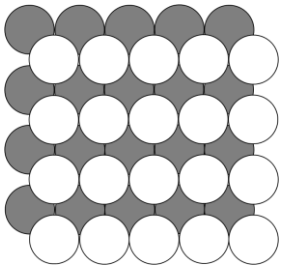
○最外層の原子,　●表面から二層目の原子,　●表面から三層目の原子



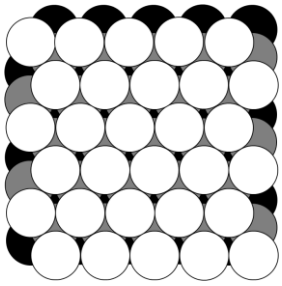
(1)



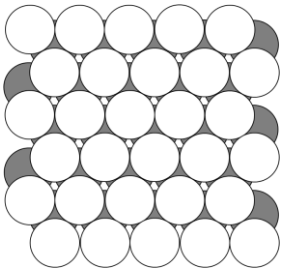
(2)



(3)



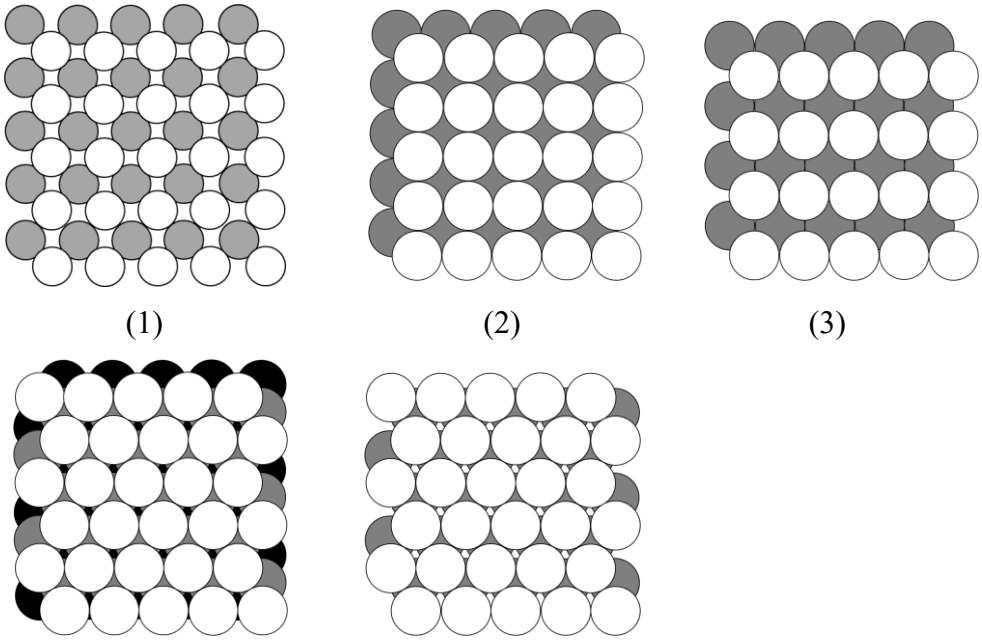
(4)



(5)

問２９　面心立方構造をとる金属結晶の(110)面の原子配列はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

○最外層の原子，　●表面から二層目の原子，　●表面から三層目の原子



問３０　原子を剛体球としたとき，面心立方構造の(111)面の表面充填率を表す式はどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

1. $\left(\frac{\sqrt{3}}{4}\right)^2\pi$,　2. $\frac{\pi}{\sqrt{3}}$,　3. $\frac{\pi}{2\sqrt{3}}$,　4. $\frac{\pi}{4\sqrt{2}}$,　5. $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$

問３１　原子を剛体球としたとき，体心立方構造の(110)面の表面充填率を表す式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. $\left(\frac{\sqrt{3}}{4}\right)^2\pi$,　2. $\frac{\pi}{\sqrt{3}}$,　3. $\frac{3\pi}{8\sqrt{2}}$,　4. $\frac{\pi}{2\sqrt{3}}$,　5. $\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$

問３２　下記の文章中の (a)～(f) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

原子は原子核と電子から構成されている．原子核は原子番号に等しい数の（　a　）を持つ．元素を同定するとは，原子核を構成する（　b　）の数を決めることである．電子は近似的には他の電子により遮蔽された原子核からの（　c　）による中心力場で運動していると考えられる．このとき電子のエネルギーは n, l, m, s により指定される離散的な値を持つ．n は（　d　），l は方位量子数，m は磁気量子数であり，量子数 $n>0$，$0 \leq l<n$，$|m| \leq l$ の条件を満たす整数のみが許容される．s は（　e　）と呼ばれ±1/2 の値をとる．エネルギー準位は l と s の組合せにより異なる値をとる．これを反映して $j = |l+s|$ により準位を区別する．電子は深い殻の軌道から（　f　）に従って順次詰まってゆく．n が増加するに従い E の値は 0 に近づき，$n=\infty$ で 0 となる．

1. (a) 陽子,　(b) 中性子,　(c) 湯川ポテンシャル,　(d) 軌道番号,
   (e) 回転量子数,　(f) パウリの原理
2. (a) 陽子,　(b) 陽子,　(c) クーロン力,　(d) 主量子数,
   (e) スピン量子数,　(f) パウリの原理
3. (a) 陽子,　(b) 陽子,　(c) 重力,　(d) 主量子数,
   (e) 固有値,　(f) スピン軌道相互作用
4. (a) 陽子,　(b) 陽子,　(c) 重力,　(d) 主量子数,
   (e) 回転量子数,　(f) 結合原理
5. (a) 中性子,　(b) 中性子,　(c) クーロン力,　(d) 主量子数,
   (e) スピン量子数,　(f) パウリの原理

問３３　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

原子は（　a　）と電子から構成されている．電子は他の電子により遮蔽された原子核からの中心力場で運動していると近似的に考えられる．このとき，電子のエネルギー準位は（　b　），方位量子数，磁気量子数，スピン量子数により決まる状態をとる．（　c　）の等しい状態のエネルギーは接近しており，元素特有の（　d　）を形成する．最外殻の電子は空間的に広がっているので，隣接した原子の距離が近づくと，近接した原子のポテンシャルの影響を受けて相互に混ざり合い，原子間の化学結合あるいエネルギーバンドの形成に寄与する．これに対して，（　e　）の準位は元素の化学的状態に大きく影響されることなく元素固有の値をとる．

1. (a) 原子核，　(b) 主量子数，　(c) 方位量子数，(d) 殻構造，　(e) 核
2. (a) 中性子，　(b) 主量子数，　(c) 主量子数，　(d) 結合状態，(e) 内殻
3. (a) 原子核，　(b) 主量子数，　(c) 方位量子数，(d) 結合状態，(e) 内殻
4. (a) 原子核，　(b) 主量子数，　(c) 主量子数，　(d) 殻構造，　(e) 内殻
5. (a) 中性子，　(b) 同位体数，　(c) 主量子数，　(d) 殻構造，　(e) 中間殻

問３４　次の文章中の (a)～(d) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

真空中でバルク結晶の格子位置に原子を止めたまま切り出した表面を（　a　）と呼ぶ．しかし（　a　）では失われた結晶からのポテンシャルがなくなり真空にむき出しとなるため，エネルギー的に安定ではない．そのため，実際の表面ではエネルギー的に安定化するように表面層の原子の位置が変わる．表面の原子位置が表面と平行な方向の対称性を（　b　）変わる変化を（　c　）と呼び，異なる対称性に移るような変化を（　d　）と呼ぶ．

1. (a) 理想表面，(b) 保ったまま，　(c) 緩和，　(d) 再構成
2. (a) 理想表面，(b) 保ったまま，　(c) 緩和，　(d) 偏析
3. (a) 理想表面，(b) 一定角度回転させながら，(c) ラフニング，(d) 再構成
4. (a) 現実表面，(b) 保ったまま，　(c) ラフニング，(d) 偏析
5. (a) 現実表面，(b) 一定角度回転させながら，(c) ラフニング，(d) 偏析

問３５　次の文章中の (a)～(d) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

結晶中の面間隔 d の格子面による波長 λ の波の回折はブラッグの関係式（　a　）であらわされる．但し，n は回折次数，θ は散乱角の 1/2 である．この関係を波数 k と格子面間隔の逆数 $d^*=2\pi/d$ を使って表すと（　b　）になる．これを散乱ベクトル $\boldsymbol{q}$ と格子面に垂直で大きさが d^* のベクトル $\boldsymbol{d}^*$ を用いると（　c　）となる．$\boldsymbol{d}^*$ は逆格子ベクトルと呼ばれる．これは，逆格子ベクトルの（　d　）倍が散乱ベクトルと一致するときに回折が起きることを示している．

1. (a) $d \sin\theta = n\lambda$,　(b) $k \sin\theta = nd^*$,　(c) $\boldsymbol{q} = n\boldsymbol{d}^*$,　(d) n
2. (a) $2d \sin\theta = n\lambda$,　(b) $2k \sin\theta = nd^*$,　(c) $2\boldsymbol{q} = n\boldsymbol{d}^*$,　(d) $n/2$
3. (a) $2d \sin\theta = n\lambda$,　(b) $k \sin\theta = nd^*$,　(c) $\boldsymbol{q} = n\boldsymbol{d}^*$,　(d) n
4. (a) $2d \sin\theta = n\lambda$,　(b) $2k \sin\theta = nd^*$,　(c) $\boldsymbol{q} = n\boldsymbol{d}^*$,　(d) n
5. (a) $2d \sin\theta = n\lambda$,　(b) $2k \sin\theta = nd^*$,　(c) $\boldsymbol{q} = n\boldsymbol{d}^*$,　(d) $n/2$

問３６　電磁波，電子あるいはイオンは波としての性質を持つので，エネルギーを適切に選べば回折が観察される．回折に関して適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) X 線は主に電子と相互作用して散乱される．
(b) He イオンは主に電子と相互作用して散乱される．
(c) 電子は主に電子と相互作用して散乱される．
(d) 回折スポットの半値幅は物質固有のものであり，結晶の大きさにより変わることはない．
(e) 回折スポットの半値幅は結晶の温度により変化することはない．
(f) 原子が規則的な格子を形成していると，各原子から散乱された波は重なりあい，散乱される方向により強くなったり弱くなったりする．
(g) 回折線の解析には逆格子を考えるのが便利だが，逆格子は想像上の仮想的な格子なので，試料を回転しても，絶対的な空間に固定していて結晶とともに動くことはない．
(h) 気体分子は結晶ではないので，回折は観測されない．

1. (a) (e) (f),　2. (a) (f) (g),　3. (a) (d) (f) (h),　4. (c) (f) (g) (h),　5. (b) (c) (d) (g) (h)

問３７　薄膜形成技術に関する次の文章の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

エピタキシー（epitaxy）とはギリシャ語で「〜の上に（epi）（　a　）（taxy）」という意味で，エピタキシャル成長とは，すなわち単結晶基板上に物質が特定の（　b　）関係をもって成長するということである．

エピタキシャル成長させた薄膜の評価法の一つに反射高速電子回折（RHEED）強度振動がある．一般に RHEED 強度振動は，二次元（　c　）による層状成長が行われているときに観察され，表面が平坦であるときは強度が（　d　）となり，二次元核密度が増加すると，干渉効果やステップエッジによる散乱のために強度が（　e　）すると考えられている．

1. （a）規則正しく，（b）結晶方位，（c）核成長，（d）極大，（e）減少
2. （a）不規則に，　（b）結晶方位，（c）膜成長，（d）極大，（e）増加
3. （a）不規則に，　（b）元素相関，（c）膜成長，（d）極小，（e）増加
4. （a）規則正しく，（b）元素相関，（c）膜成長，（d）極小，（e）減少
5. （a）規則正しく，（b）結晶方位，（c）核成長，（d）極小，（e）増加

問３８　平衡系の結晶成長ではウルフの多面体が形成されることが多い．ウルフの多面体では，多面体の中心から 1 つの結晶面への垂線の長さ h と，その面の単位面積当たりの表面エネルギー γ との間の関係として正しいものはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

1. $\gamma+h=$ 一定，　2. $\gamma/h=$ 一定，　3. $\gamma/h^2=$ 一定，4. $\gamma h=$ 一定，　5. $\gamma^2/h=$ 一定

問３９　次の文章中の (a)～(d) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

原子が相互に十分離れて存在する場合には，原子間の相互作用は無視できるので，この原子集団の電子状態は孤立した原子が多数集まったものと変わらない．原子間の距離を格子間距離程度まで近づけると，原子は隣接した原子の（　a　）の影響を受け，浅いエネルギー準位は相互に混ざり合い（　b　）を形成する．しかし，エネルギーの深い位置にある（　c　）はそれ程大きな変化を受けない．金属ではバンドの幅は広く，バンド内の電子は個々の原子の影響下に留まることなく，（　d　）のように振る舞う．

1. (a) 核力，　(b) リドベルグ状態，　(c) 外殻準位，　(d) 磁性電子
2. (a) 核力，　(b) リドベルグ状態，　(c) 外殻準位，　(d) 自由電子
3. (a) ポテンシャル，(b) エネルギーバンド，(c) 内殻準位，　(d) 磁性電子
4. (a) ポテンシャル，(b) エネルギーバンド，(c) 内殻準位，　(d) 自由電子
5. (a) ポテンシャル，(b) リドベルグ状態，　(c) 内殻準位，　(d) 自由電子

※リドベルグは，リュードベルグとも言う（Rydberg）

問４０　次の文章中の (a)～(d) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

金属ではフェルミ準位まで電子が詰まっている．フェルミ準位と真空準位のエネルギー差を（　a　）という．（　a　）は物質によるが大体（　b　）である．金属中で自由電子とみなせる電子は集団運動である（　c　）をする．バルクの(　c　)のエネルギーは物質によるが大体 10 eV 程度である．また，原子の相対的位置の変動に伴う（　d　）が存在する．（　d　）のエネルギーは 1 eV 以下である．

1. (a) バンドギャップ，(b) 数 meV，　(c) プラズマ振動，　(d) ヘリコン振動
2. (a) 仕事関数，　(b) 数 eV，　(c) プラズマ振動，　(d) 格子振動
3. (a) 仕事関数，　(b) 数十 eV，　(c) プラズマ振動，　(d) 格子振動
4. (a) 仕事関数，　(b) 数 eV，　(c) フリーデル振動，　(d) 格子振動
5. (a) バンドギャップ，(b) 数 meV，　(c) フリーデル振動，　(d) ヘリコン振動

問４１　次の文章中の (a)～(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

固体中の電子がある値以上のエネルギーを得て，固体表面から放出される現象を，（　a　）という．タングステンフィラメントなどを通電加熱する際，電子が熱的に励起され放出される場合を（　b　）と言い，金属に光を照射したときに電子が光により励起され放出される現象を（　c　）という．

1. (a) 電子放出，(b) 熱電子放出，(c) 光電子放出
2. (a) 電子放出，(b) 熱放出，　(c) 光電子放出
3. (a) 電子輻射，(b) 熱放出，　(c) 光放射
4. (a) 電流放出，(b) 熱線放射，　(c) 光電子放出
5. (a) 電子発生，(b) 熱電子放出，(c) 光放射

問４２　次の文章中の (a)～(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

金属表面に光を照射して電子が放出される（　a　）はアイシュタインによる光量子仮説により，そのメカニズムが解明された．また，対向電極に十分に高い正電圧を印加して，固体表面から電子を放出させる現象を（　b　）という．この時，固体表面から真空へと脱出する際のポテンシャル障壁は高電界により薄くなり，電子は（　c　）効果により真空中へと放出される．

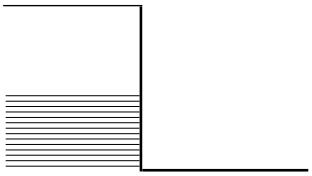
1. (a) 光電子放出，(b) 高電圧放射，　(c) トンネル
2. (a) 光電子放出，(b) 電界電子放出，(c) トンネル
3. (a) 光放射，　(b) 光電子放出，　(c) トムソン
4. (a) 光電子放出，(b) 電界電子放出，(c) アインシュタイン
5. (a) 光放射，　(b) 電界輻射，　(c) トンネル

問４３　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

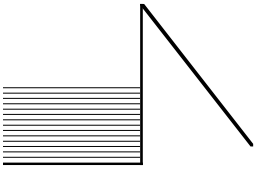
固体表面では表面に局在した（　a　）が存在する．（　a　）ができる原因は大きく二つある．一つは，表面近傍で電子が感じるポテンシャルが結晶内部と異なることで表面に局在状態ができる．これを（　b　）と呼ぶ．これは，例えば Cu(100)面に見られる．もう一つの原因は，結晶内部でエネルギーバンドギャップを形成していた因子が表面で無くなることである．このような原因で生成された状態を（　c　）と呼ぶ．Si(111)面などの半導体表面で見られる（　d　）はこの状態に含まれる．以上の二つとはその起源が大きく異なるが，金属表面に弱く束縛された（　e　）も広い意味では（　a　）に含まれる．

1. (a) 鏡像力表面状態，(b) ショックレー状態，(c) タム状態，　(d) ダングリングボンド状態，(e) 表面電子状態
2. (a) ダングリングボンド状態，(b) タム状態，(c) ショックレー状態，(d) 表面電子状態，(e) 鏡像力表面状態
3. (a) ダングリングボンド状態，(b) 鏡像力表面状態，(c) ショックレー状態，(d) タム状態，(e) 表面電子状態
4. (a) 表面電子状態，(b) タム状態，(c) ショックレー状態，　(d) ダングリングボンド状態，(e) 鏡像力表面状態
5. (a) 表面電子状態，(b) タム状態，(c) ダングリングボンド状態，(d) 表面電子状態，(e) 鏡像力表面状態

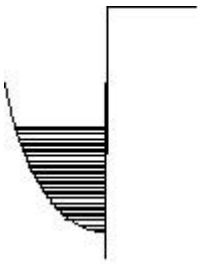
問４４　金属表面に垂直に 1 V/nm 程度の強い電界が印加されると，内部の電子は表面からトンネル効果で外部（真空）へ放出される．この現象を電界（電場）電子放出と呼ぶ．このとき表面電子が感じるポテンシャルは以下の図のうちどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．ただし，左側が金属，中央が表面，右側が真空，実線は表面電子が感じるポテンシャル，影付き（ハッチング）部分は電子が占有する領域とする．



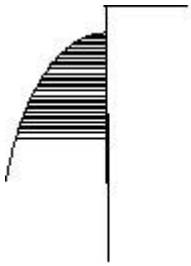
(1)



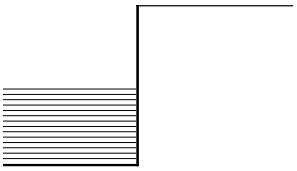
(2)



(3)

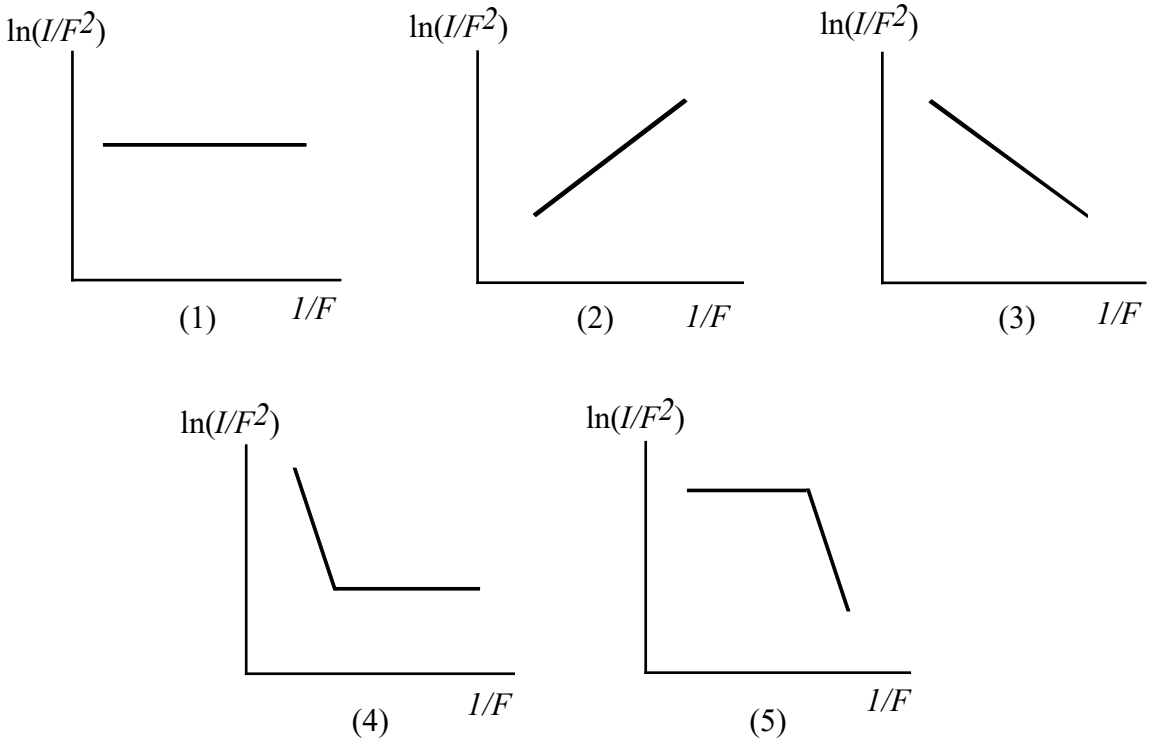


(4)



(5)

問４５　金属表面に印加した電界強度 F [V/nm]とそれによって放出された電流値 I [A]の関係を，縦軸 $\ln(I/F^2)$，横軸 $1/F$ としたグラフは Fowler-Nordheim プロット（F-N プロット）と呼ばれ，電界電子放射の電流-電界特性として知られている．Fowler-Nordheim プロットの概形として適切な図はどれか．1～5 の番号で答えなさい．



問４６　次の測定法のうち仕事関数の絶対値を測定できるものはどれか．適切な語句だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) X 線光電子分光法（XPS），　(b) 真空紫外光電子分光法（UPS），
(c) オージェ電子分光法（AES），　(d) 電子エネルギー損失分光法（EELS），
(e) 走査トンネル顕微鏡（STM），　(f) 原子間力顕微鏡（AFM）

1. (a) (b),　2. (a) (b) (c) (d) (e) (f),　3. (b),　4. (e),　5. (e) (f)

問４７　仕事関数の異なる 2 種類の金属平板を平行に向き合わせ，導線で結合してある．次の記述のうち適切なものの組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．金属平板は近似的に無限大とする．

(a) 2 枚の金属平板の間には電場が存在しない．
(b) 2 枚の金属平板の間には電場が存在する．
(c) 2 枚の金属平板の間の距離を周期的に変化させると導線に交流が流れる．
(d) 2 枚の金属平板の間の距離を周期的に変化させても，導線に電流は流れない．
(e) 金属平板の間隔を 2 倍にすると電場の大きさは半分になる．
(f) 金属平板の間隔を 2 倍にすると電場の大きさは２倍になる．
(g) 金属平板の間隔を 2 倍にしても，電場の大きさは変わらない．

1. (a) (c) (g),　2. (a) (d) (g),　3. (b) (c) (e),　4. (b) (c) (f),　5. (b) (d) (e)

問４８　次の文章中の (a)～(f) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

金属の仕事関数は（　a　）で定義される物理量で，その起源はバルクの電子エネルギー成分と表面での電気二重層ポテンシャルエネルギーの合計である．その値はおよそ（　b　）eV 程度で，固体中の電子密度，構成原子種，結晶面方位に依存している．電子密度が（　c　），原子の（　d　）が大きいとき，仕事関数の値は大きい．原子の面密度が（　e　）ほど仕事関数は大きいので，面心立方格子（fcc）の場合，仕事関数の大きさは（　f　）の順となる．

1. (a) 真空準位とフェルミ準位のエネルギー差,　(b) 0.5～1,　(c) 大きく,
   (d) 電子数,　(e) 小さい,　(f) (110) < (111) < (100)
2. (a) 真空準位とフェルミ準位のエネルギー差,　(b) 2～5,　(c) 大きく,
   (d) 電気陰性度,　(e) 大きい,　(f) (110) < (100) < (111)
3. (a) 電子親和力,　(b) 0.5～1,　(c) 小さく,
   (d) 電子数,　(e) 大きい,　(f) (111) < (100) < (110)
4. (a) フェルミ準位と価電子帯最高準位のエネルギー差,　(b) 2～5,　(c) 小さく,
   (d) 電気陰性度,　(e) 小さい,　(f) (100) < (110) < (111)
5. (a) フェルミ準位と価電子帯最高準位のエネルギー差,　(b) 0.5～1,　(c) 大きく,
   (d) 電気陰性度,　(e) 大きい,　(f) (100) < (111) < (110)

問４９　次の文章中の (a)～(d) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

金属の仕事関数の測定方法の代表例は，（ a ）である．金属の仕事関数は真空準位と（ b ）のエネルギー差で定義される．半導体では，仕事関数は（ c ）で定義される．半導体の仕事関数は，Kelvin 法とよばれる実験によって（ d ）を決定することで測定される．

1. (a) 接触電位差法と電界電子放出，(b) フェルミ準位，
   (c) フェルミ準位と価電子帯最高準位のエネルギー差，(d) 接触電位差
2. (a) 光電子放出と電界電子放出，　(b) フェルミ準位，
   (c) 真空準位と化学ポテンシャルのエネルギー差，　(d) 接触電位差
3. (a) 光電子放出と電界蒸発，　(b) 最高占有分子軌道，
   (c) 真空準位と化学ポテンシャルのエネルギー差，　(d) 接触電位差
4. (a) 接触電位差法と電界電子放出，(b) 不純物準位，
   (c) 真空準位と化学ポテンシャルのエネルギー差，　(d) 静電容量
5. (a) 光電子放出と電界電子放出，　(b) 最高占有分子軌道，
   (c) フェルミ準位と価電子帯最高準位のエネルギー差，(d) 静電容量，

問５０　吸着平衡にある場合，吸着の進行で吸着系の自由エネルギーは変化しない．また，一般的な吸着では気体の 3 次元状態から吸着の 2 次元状態に変化すると考える．自由エネルギーの変化分は$\Delta F = \Delta H - T\Delta S$ で表される．ここでΔH はエンタルピーの変化分，ΔS はエントロピーの変化分である．またエンタルピーH は，内部エネルギーU，圧力 P，系の体積 V によって $H = U + PV$ で表される．このとき，次の記述のうち適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 吸着によるエンタルピーの変化はエントロピーの変化に比例する．
(b) 吸着によるエンタルピーの変化はエントロピーには依らない．
(c) 吸着によるエンタルピーの変化は温度に比例する．
(d) 吸着によるエンタルピーの変化は温度に依らない．
(e) 吸着によるエンタルピーの変化は近似的に内部エネルギーの変化に等しい．
(f) 吸着によるエンタルピーの変化は内部エネルギーには依らない．

1. (a) (c) (e),　2. (a) (d) (e),　3. (a) (d) (f),　4. (b) (c) (e),　5. (b) (d) (f)

問５１　吸着平衡にある場合，吸着の進行で吸着系の自由エネルギーは変化しない．また，一般的な吸着では気体の 3 次元状態から吸着の 2 次元状態に変化すると考える．自由エネルギーの変化分は$\Delta F = \Delta H - T\Delta S$ で表される．ここでΔH はエンタルピーの変化分，ΔS はエントロピーの変化分である．またエンタルピーH は，内部エネルギーU，圧力 P，系の体積 V によって $H = U + PV$ で表される．このとき，次の記述のうち適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 吸着においてエントロピーが減少するのでエンタルピーは増大する．
(b) 吸着においてエントロピーが減少するのでエンタルピーも減少する．
(c) 吸着において内部エネルギーが増大するので吸着は発熱反応である．
(d) 吸着において内部エネルギーが減少するので吸着は発熱反応である．
(e) 吸着においてエンタルピーが減少するので吸着は発熱反応である．
(f) 吸着においてエンタルピーが増大するので吸着は発熱反応である．
(g) 吸着においてエンタルピーが増大するので吸着は吸熱反応である．

1. (a) (g),　2. (a) (c) (f),　3. (a) (d) (f),　4. (b) (c) (e),　5. (b) (d) (e)

問５２　表面分析に関する次の説明文の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

表面分析は，固体表面から必要な情報を得るため，電磁波（光，X 線など），電子，（　a　），中性粒子（原子，分子など）などをプローブとして表面に当てて，表面層との相互作用の結果，放出された各種の量子や粒子を検出することによって行われる．

表面に電子を入射させた場合，その一部は（　b　）し，格子による回折などが生じる．他は吸着分子や格子の振動励起，さらに価電子や内殻電子の励起などの（　c　）の結果，光，二次電子，オージェ電子，（　d　）などを発生する．電子線は（　e　）レベルに絞ることも可能で，局所分析や二次元像を得るのに適している．

1. (a) 超音波，(b) 非弾性散乱，(c) 弾性散乱，(d) X 線，(e) 数 μm
2. (a) 超音波，(b) 弾性散乱，(c) 非弾性散乱，(d) X 線，(e) 数 μm
3. (a) 超音波，(b) 非弾性散乱，(c) 弾性散乱，(d) 超音波，(e) 数 nm
4. (a) イオン，(b) 弾性散乱，(c) 非弾性散乱，(d) X 線，(e) 数 nm
5. (a) イオン，(b) 弾性散乱，(c) 非弾性散乱，(d) 超音波，(e) 数 μm

問５３　固体表面における電磁波の振る舞いに関する次の文章の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

電磁波を物質に照射すると，波長によって異なるものの，電子線に比べて概して侵入深さが（　a　），振動励起，電子励起などの相互作用によって光，（　b　），（　c　），X 線などを放出する．これらのうち，固体内部で発生した光やX線は脱出深さが（　a　），（　d　）の評価になる．電磁波は物質との相互作用が小さく（　e　）が可能である．

1. (a) 大きく，(b) 光電子，(c) オージェ電子，(d) バルク，(e) 非破壊分析
2. (a) 小さく，(b) 光電子，(c) 散乱電子，(d) 表面，(e) 破壊分析
3. (a) 小さく，(b) 陽電子，(c) オージェ電子，(d) 表面，(e) 非破壊分析
4. (a) 大きく，(b) 陽電子，(c) 散乱電子，(d) バルク，(e) 非破壊分析
5. (a) 大きく，(b) 光電子，(c) オージェ電子，(d) 表面，(e) 破壊分析

問５４　Cu Kα線が物質に照射されたときに生じる現象の記述として適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) X 線は表面で屈折する．その屈折率は 1 よりわずかに大きい．
(b) 入射角が 1°以下のとき X 線は表面で全反射することがある．
(c) 結晶構造に依存する回折を生じる．
(d) 物質中の電子と相互作用して吸収され，光電子と蛍光 X 線などを発生する．

1. (a) (b) (c) (d),　2. (a) (b) (c),　3. (a) (b) (d),　4. (a) (c) (d),　5. (b) (c) (d)

問５５　表面分析に関する次の説明文の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

固体表面の微小領域の分析において，空間分解能は特に重要で，横方向については入射ビームの太さと，ビームの（　a　）に依存する．電子ビームは細く絞ることができるが，イオンビームは比較的困難なため，オージェ電子分光法では（　b　）程度まで横方向（表面面内方向）分解能が得られるに対し，通常の二次イオン質量分析法ではサブμm 程度となる．深さ方向分解能は入射ビームがどの程度深く侵入できるか，またそこで発生したエネルギー種が表面まで達成できるかのいずれかによって決まる．電子やイオンの（　c　）は短く，（　d　）程度の深さ分解能が得られ，表面層の分析には好都合である．一方，X線では平均自由行程が長く，通常の方法では深さ方向分解能は（　e　）程度となる．

1. (a) 散乱断面積,　(b) 100 nm,　(c) 平均自由行程,　(d) μm,　(e) μm
2. (a) 試料内部拡散,　(b) 100 nm,　(c) 阻止能,　(d) nm,　(e) μm
3. (a) 散乱断面積,　(b) 10 nm,　(c) 阻止能,　(d) μm,　(e) nm
4. (a) 試料内部拡散,　(b) 10 nm,　(c) 平均自由行程,　(d) nm,　(e) μm
5. (a) 試料内部拡散,　(b) 10 nm,　(c) 平均自由行程,　(d) μm,　(e) nm

問５６　固体表面におけるイオンの振る舞いに関する次の文章の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

数 keV～数 10 keV のイオンを入射させた場合，表面で強く（　a　）されたり，中性化されながら，一部は真空中へ跳ね飛ばされるが，残りは表面原子を（　b　），（　c　）しながら内部に侵入する．その過程でイオン，クラスター，光，X 線，電子などを放出する．したがって，一般的には試料破壊は免れないが，（　d　）を検出すれば最表面層近傍の評価ができる．（　e　）を用いれば表面第一層のみを評価することもできる．

1. (a) 散乱，(b) チャネリング，(c) スパッタ，　(d) 二価イオン，(e) 高速イオン
2. (a) 散乱，(b) ノックオン，　(c) スパッタ，　(d) 二次イオン，(e) 低速イオン
3. (a) 回折，(b) チャネリング，(c) スパッタ，　(d) 二価イオン，(e) 低速イオン
4. (a) 散乱，(b) チャネリング，(c) トンネリング，(d) 二次イオン，(e) 低速イオン
5. (a) 回折，(b) ノックオン，　(c) トンネリング，(d) 二価イオン，(e) 高速イオン

問５７　表面分析に関する次の説明文の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

二次イオン質量分析法は，試料表面にイオンを照射した時，試料表面からスパッタリングにより放出される粒子のうち（　a　）している粒子を（　b　）することにより試料の構成元素を定性的および定量的に分析する表面分析の代表的手法である．スパッタしながら分析すれば元素の深さ方向分布，一次イオンビームを走査すれば面内分布が測定できる．電気陰性度の（　c　）元素（Be,B,Mg,・・・）に対しては酸素イオン，逆傾向の元素（H,C,O,・・・）に対しては（　d　）を用いるとそれぞれ高い二次イオン検出効率が得られる．特に，微小領域の分析にはビーム径の細い電界放出による（　e　）イオンビームが用いられる．

1. (a) 中性化　(b) 発光分析，(c) 大きい，(d) セシウム，(e) ガリウム
2. (a) 中性化，　(b) 発光分析，(c) 大きい，(d) ヘリウム，(e) セシウム
3. (a) イオン化，(b) 質量分析，(c) 大きい，(d) ヘリウム，(e) セシウム
4. (a) イオン化，(b) 質量分析，(c) 小さい，(d) ヘリウム，(e) セシウム
5. (a) イオン化，(b) 質量分析，(c) 小さい，(d) セシウム，(e) ガリウム

問５８　イオン散乱における微分散乱断面積に関する適切な記述の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

(a) 微分散乱断面積は散乱角が小さいほど大きい．
(b) 微分散乱断面積は散乱角に依存しない．
(c) 微分散乱断面積は入射イオンと標的原子のいずれに対しても原子番号の 2 乗に比例する．
(d) 微分散乱断面積は標的原子の原子番号の 2 乗に比例するが，入射イオンの原子番号にはよらない．
(e) 微分散乱断面積は入射イオンのエネルギーの 2 乗に反比例する．
(f) 微分散乱断面積は入射イオンのエネルギーの 2 乗に比例する．

1. (a) (c) (e),　2. (a) (c) (f),　3. (a) (d) (f),　4. (b) (c) (e),　5. (b) (d) (e)

問５９　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

イオン散乱分析の基本概念には，散乱前後のイオンの運動エネルギーの比（　a　），単位立体角に散乱されるイオンの割合（　b　），イオンが固体中を移動する間に失うエネルギー（　c　），エネルギー損失の統計変動（　d　），結晶軸に平行に入射したイオンが微小角散乱を繰り返す（　e　）などがある．

1. (a) ｶｲﾈﾏﾃｨｯｸ因子，(b) 微分散乱断面積，(c) 阻止能，(d) ｴﾈﾙｷﾞｰｽﾄﾗｸﾞﾘﾝｸﾞ，(e) チャネリング
2. (a) 強度因子，(b) 散乱強度，(c) 散乱能，(d) 散乱確率，(e) トンネリング
3. (a) ｶｲﾈﾏﾃｨｯｸ因子，(b) 散乱強度，(c) 散乱能，(d) ｴﾈﾙｷﾞｰｽﾄﾗｸﾞﾘﾝｸﾞ，(e) チャネリング
4. (a) 強度因子，(b) 微分散乱断面積，(c) 阻止能，(d) 散乱確率，(e) トンネリング
5. (a) ｶｲﾈﾏﾃｨｯｸ因子，(b) 散乱強度，(c) 阻止能，(d) ｴﾈﾙｷﾞｰｽﾄﾗｸﾞﾘﾝｸﾞ，(e) チャネリング

問６０　次の手法のうち，試料中における X 線の回折現象を用いた分析手法はどれか．適切な語句だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) X 線吸収分光法，　(b) X 線光電子分光法，　(c) X 線回折法，
(d) 蛍光 X 線法，　(e) 電子線マイクロアナライザー

1. (c)，　2. (b) (c)，　3. (c) (e)，　4. (a) (b) (c)，　5. (b) (c) (d)

問６１　次の手法のうち，電子の回折現象を用いる分析手法はどれか．適切な語句だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 走査電子顕微鏡（SEM），　(b) 透過電子顕微鏡（TEM），
(c) 電子エネルギー損失分光法，　(d) He 原子線回折法，
(e) 低速電子回折法（LEED），　(f) 電子線マイクロアナライザー，
(g) 反射高速電子回折法（RHEED）

1. (a) (b) (e) (g)，　2. (a) (d) (e) (g)，　3. (c) (e) (f) (g)，　4. (b) (e) (g)，　5. (c) (e) (g)

問６２　⇒　欠番（削除）

問６３　次の測定法のうち，かならずしも真空を必要としないものはどれか．適切な語句だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 赤外分光法（IR），(b) X 線光電子分光法（XPS），(c) 電子エネルギー損失分光法（EELS），(d) 低速電子回折法（LEED），(e) イオン散乱分光法（ISS），(f) 走査トンネル顕微鏡（STM）

1. (a) (b) (c),　2. (a) (e) (f),　3. (a) (f),　4. (c) (e) (f),　5. (e) (f) (d)

問６４　次の測定法のうち構成原子の質量を評価することにより試料の元素分析を行うものはどれか．適切な手法だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 二次イオン質量分析法（SIMS），(b) イオン散乱分光法（ISS），
(c) 三次元アトムプローブ（3DAP），(d) X 線吸収分光法，(e) 蛍光 X 線法，
(f) X 線光電子分光法（XPS），(g) 電子線マイクロアナリシス，
(h) オージェ電子分光法（AES），(i) 電子エネルギー損失分光法（EELS）

1. (a) (b) (c),　2. (f) (h) (i),　3. (a) (b),　4. (d) (e),　5. (e) (g)

問６５　次の測定法のうち構成原子の内殻電子軌道のエネルギーを測定することにより試料の元素分析を行うものはどれか．適切な語句だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) イオン散乱分光法（ISS），
(b) 二次イオン質量分析法（SIMS），
(c) X 線吸収分光法，
(d) 蛍光 X 線法，
(e) X 線光電子分光法（XPS），
(f) 電子線マイクロアナライザー，
(g) オージェ電子分光法（AES），
(h) 電子エネルギー損失分光法（EELS），
(i) 三次元アトムプローブ（3DAP）

1. (a)(b) (c) (g) (h) (i),　2. (c) (d) (e) (f) (g) (h),　3. (c) (d) (e) (f),
4. (e) (f) (g) (h),　5. (a) (b) (i)

問６６　次の測定法のうち表面から深さ数 nm 以下の元素分析を行えるものはどれか．適切な語句だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 走査トンネル顕微鏡（STM），　(b) 走査電子顕微鏡（SEM），
(c) 真空紫外光電子分光法（UPS），　(d) X 線光電子分光法（XPS），
(e) オージェ電子分光法（AES），　(f) X 線吸収分光法（XAS），
(g) 赤外分光法（IR），　(h) イオン散乱分光法（ISS），
(i) 低速電子回折法（LEED）

1. (a) (d) (e),　2. (d) (e) (h),　3. (c) (d) (f) (g),　4. (d) (e) (f) (h),　5. (b) (c) (d) (e) (i)

問６７　次の測定法のうち分子の化学結合に関するエネルギー情報を得ることのできる手法はどれか．適切な語句だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 赤外分光法,　(b) ラマン分光法,　(c) X 線回折法,
(d) 低速電子回折法（LEED），(e) He 原子回折法,　(f) 光電子分光法（PES），
(g) ラザフォード後方散乱法（RBS），
(h) ダイナミック二次イオン質量分析法（D-SIMS）

1. (a) (b) (f),　2. (c) (d) (e),　3. (f) (g) (h),
4. (a) (b) (f) (g) (h),　5. (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h)

問６８　機器分析はプローブによる刺激を試料に与え，これ対する応答を検出・解析することにより試料についての情報を得る手法である．次の表は表面分析で用いられる各種分析法を刺激と応答の観点からまとめたものである．表の空欄 (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

応答 刺激	(a)	(b)	イオン
(c)	赤外分光 ラマン分光 X 線回折 蛍光 X 線	光電子分光	
(d)	電子線マイクロアナリシス	オージェ電子分光 電子顕微鏡　電子回折 電子エネルギー損失分光	
(e)			イオン散乱分光法 二次イオン質量分析

1 (a) 電子,　(b) 電磁波（光）,　(c) 電磁波（光）,　(d) 電子,　(e) イオン
2 (a) 電磁波（光）,　(b) 電子,　(c) 電子,　(d) イオン,　(e) 電磁波（光）
3 (a) 電磁波（光）,　(b) 電子,　(c) イオン,　(d) 電磁波（光）,　(e) 電子
4 (a) 電子,　(b) 電磁波（光）,　(c) 電子,　(d) イオン,　(e) 電磁波（光）
5 (a) 電磁波（光）,　(b) 電子,　(c) 電磁波（光）,　(d) 電子,　(e) イオン

問６９　表面分析はプローブによる刺激を試料に与え，これ対する応答を検出・解析することにより試料についての情報を得る手法である．次の表は表面分析で用いられる各種分析法を刺激と応答の観点からまとめたものである．表の空欄 (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

応答 / 刺激	電磁波（光）	電子	イオン
電磁波（光）	赤外分光 ラマン分光 (　a　)	(　b　)	
電子	(　c　)	オージェ電子分光 (　d　)	
イオン			(　e　)

1. (a) X 線回折，(b) 光電子分光，(c) 電子顕微鏡，(d) 電子線ﾏｲｸﾛｱﾅﾗｲｻﾞｰ，(e) イオン散乱分光
2. (a) 電子線ﾏｲｸﾛｱﾅﾗｲｻﾞｰ，(b) 光電子分光，(c) X 線回折，(d) 電子顕微鏡，(e) イオン散乱分光
3. (a) X 線回折，(b) 電子顕微鏡，(c) 光電子分光，(d) イオン散乱分光，(e) 電子線ﾏｲｸﾛｱﾅﾗｲｻﾞｰ
4. (a) X 線回折，(b) 光電子分光，(c) 電子線ﾏｲｸﾛｱﾅﾗｲｻﾞｰ，(d) 電子顕微鏡，(e) イオン散乱分光
5. (a) 電子線ﾏｲｸﾛｱﾅﾗｲｻﾞｰ，(b) 電子顕微鏡，(c) 光電子分光，(d) X 線回折，(e) イオン散乱分光

問７０　X 線，電子，イオンなどの強度を測定する場合，しばしば検出器への X 線光子あるいは粒子の入射によって検出器に発生する電流パルスを数えることが行われる．X 線光子または粒子の入射がランダムであれば時間 Δt 当りの入射粒子数はポワソン分布で表される．ポワソン分布について適切な記述だけをすべて含む組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

(a) 時間 Δt 当りの入射粒子数が多くなるとポワソン分布はガウス分布で近似できる．

(b) ポワソン分布に従う計数値が 1 回測定された場合，その標準偏差の最も確からしい推定値は計数値の 1/2 乗である．

(c) 時間 Δt 当りの入射粒子数を多数回測定したとき，それらの測定値の平均は最も確からしい入射粒子数の推定になっている．

(d) 計数値を n 回測定して得られた平均値 m の信頼区間は $m \pm \sqrt{m}$ である．

1. (a) (d),　2. (a) (b) (c),　3. (a) (b) (d),　4. (a) (c) (d),　5. (b) (c) (d)

問７１　X 線，電子，イオンなどの強度を測定する場合，しばしば検出器への X 線光子あるいは粒子の入射によって発生する電流パルスを数えることが行われる．X 線光子または粒子の入射がランダムであれば時間 Δt 当りの入射粒子数（計数値）はポワソン分布で表される．信号とバックグラウンドを含めた測定値が 75 counts，バックグラウンドだけの測定値が 50 counts であるとき次のうち正しい記述はどれか．適切な記述の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 信号とその信頼区間は 25±9 である．
(b) 信号とその信頼区間は 25±11 である．
(c) 信号とその信頼区間は 25±7 である．
(d) 信号は 99%以上の確率で存在するとしてよい．
(e) 信号は 95%の確率で存在するとしてよい．

1. (a) (e) ，2. (b) (d)，　3. (b) (e)，　4. (c) (d)，　5. (c) (e)

問７２　X と Y をランダムに変化する物理量とし，それらの標準偏差をそれぞれ ΔX，ΔY であるとする．物理量 Z が X と Y の和（$Z=X+Y$）で表されるとき物理量 Z の標準偏差 ΔZ として適切な表現はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. $\Delta Z=\Delta X-\Delta Y$,　2. $\Delta Z=(\Delta X+\Delta Y)^{1/2}$,　3. $\Delta Z=(\Delta X^2+\Delta Y^2)^{1/2}$,　4. $\Delta Z=\Delta X^2+\Delta Y^2$,
5. $\Delta Z=\Delta X+\Delta Y$

問７３　X と Y をランダムに変化する物理量とし，それらの標準偏差をそれぞれ ΔX，ΔY であるとする．物理量 Z が X と Y の差（$Z=X-Y$）で表されるとき物理量 Z の標準偏差 ΔZ として適切な表現はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

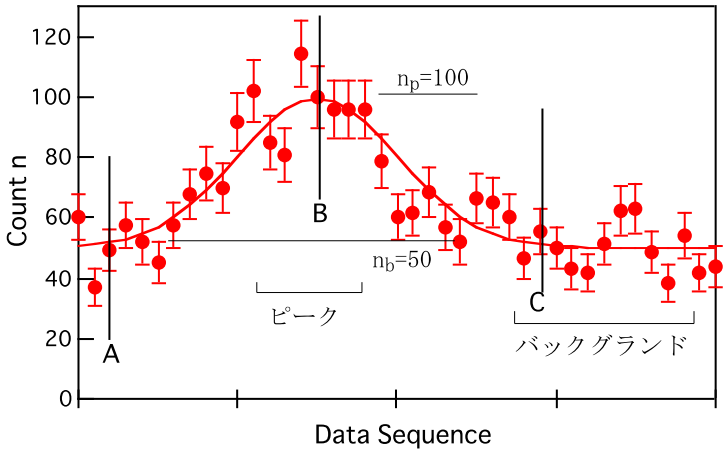
1. $\Delta Z=\Delta X-\Delta Y$,　2. $\Delta Z=\Delta X+\Delta Y$,　3. $\Delta Z=\Delta X^2+\Delta Y^2$,
4. $\Delta Z=(\Delta X+\Delta Y)^{1/2}$,　5. $\Delta Z=(\Delta X^2+\Delta Y^2)^{1/2}$

問７４　図のように各点 1 秒の測定時間のデータが 40 点ある．ピークの高さを測定するため A, B, C 点で各 10 秒の測定時間で測定を行い，以下の計数値を得た．

A　490　　B　1000　　C　510

標準偏差と推定された信号のピーク値との比は何%となるか．最も適切な比を1～5の番号で答えなさい．

1. 約13%，　2. 約11%，　3. 約9%，　4. 約7%，　5. 約5%

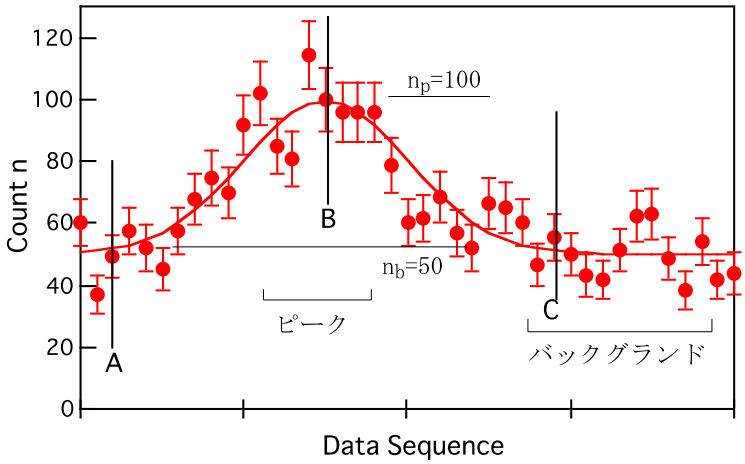


問７５　図のように各点 1 秒の測定時間のデータが 40 点ある．ピークの高さを測定するために A, B, C 点で各 10 秒の測定時間で測定を行い，以下の計数値を得た．

A　490　　B　1000　　C　510

標準偏差が 1%程度となるようにするには，A, B, C 各点での測定時間をどの程度にすればよいか．適切な時間を 1～5 の番号で答えなさい．

1. 1200 秒，　2. 800 秒，　3. 500 秒，　4. 250 秒，　5. 90 秒



問７６　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

電子回折は電子の（　a　）を利用し，結晶の（　b　）情報を取得するものである．電子の波長はド・ブロイの関係式 λ ＝（　c　）から求めることができ，電位差 V (V)で加速される電子の波長は $\lambda \fallingdotseq$（　d　）Å で計算される．ただし，電子の加速電圧 V が数 10 kV 以上になると，厳密には特殊相対論補正が必要となり，上式で得られる波長よりも（　e　）くなる．

1．(a) 波動性，(b) 構造，(c) h/p，(d) $\sqrt{150.4/V}$，(e) 短
2．(a) 粒子性，(b) 組成，(c) p/h，(d) $\sqrt{150.4/V}$，(e) 短
3．(a) 波動性，(b) 組成，(c) h/p，(d) $\sqrt{150.4/V}$，(e) 短
4．(a) 粒子性，(b) 構造，(c) h/p，(d) $\sqrt{V/150.4}$，(e) 長
5．(a) 波動性，(b) 構造，(c) p/h，(d) $\sqrt{V/150.4}$，(e) 長

問７７　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

電子線を用いた場合，物質の屈折率は１より（　a　）ので，電子線は真空中よりも（　b　）角度で試料内部に入射する．電子が物質内部に入射すると，僅かではあるが物質内の平均内部ポテンシャル分だけ電子の運動エネルギーは（　c　）し，その結果，電子波の波長は僅かに（　d　）なる．特に，（　e　）入射視射角の反射高速電子回折（RHEED）では屈折効果が顕著に現れる．

1．(a) 小さい，(b) 浅い，(c) 減少，(d) 短く，(e) 大きい
2．(a) 小さい，(b) 浅い，(c) 減少，(d) 長く，(e) 大きい
3．(a) 大きい，(b) 深い，(c) 増加，(d) 短く，(e) 小さい
4．(a) 大きい，(b) 深い，(c) 増加，(d) 長く，(e) 小さい
5．(a) 大きい，(b) 浅い，(c) 増加，(d) 長く，(e) 小さい

問７８　空間格子として面心立方格子を有する結晶について，以下の表面はどの 2 次元ブラベー格子に属すか．次の文章中の (a)～(e) に入れる語句として適切な組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．ただし表面再構成はないものとする．

(100) 表面は（　a　）に属し，（　b　）対称性を有す．(110) 表面は（　c　）に属し，（　d　）対称性を有す．(111) 表面は（　e　）に属す．

1. (a) 長方格子，(b) 2 回，(c) 正方格子，(d) 4 回，(e) 六方格子
2. (a) 長方格子，(b) 2 回，(c) 正方格子，(d) 4 回，(e) 斜方格子
3. (a) 正方格子，(b) 4 回，(c) 長方格子，(d) 2 回，(e) 斜方格子
4. (a) 正方格子，(b) 2 回，(c) 長方格子，(d) 4 回，(e) 六方格子
5. (a) 正方格子，(b) 4 回，(c) 長方格子，(d) 2 回，(e) 六方格子

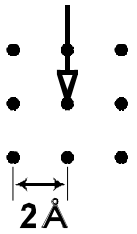
問７９　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

格子定数aの面心立方格子(001)表面上の，2 次元単位格子（プリミティブセル）を表す基本並進ベクトルの大きさは（　a　）で，向きは（　b　）となる．清浄な Si(001)表面は室温で 2 重分域（ダブルドメイン）の 2×1 構造が現れるが，この表面の反射電子回折パターンの特徴は（　c　）スポット及びこれに等価なスポットが現れないことであり，2×2 構造のパターンとは異なる．この 2×1 構造において，Si 表面原子は不安定なダングリングボンドの数を減らすべく隣接 Si 原子同士が結合して（　d　）を形成し，（　e　）に列をなす．

1. (a) $a/\sqrt{3}$,　(b) $\langle 110 \rangle$,　(c) 1/2 0,　(d) ダイマー,　(e) $\langle 100 \rangle$
2. (a) $a/\sqrt{2}$,　(b) $\langle 110 \rangle$,　(c) 1/2 1/2,　(d) ダイマー,　(e) $\langle 110 \rangle$
3. (a) $a/\sqrt{2}$,　(b) $\langle 110 \rangle$,　(c) 1/2 1/2,　(d) トライマー,　(e) $\langle 100 \rangle$
4. (a) $a/\sqrt{3}$,　(b) $\langle 100 \rangle$,　(c) 0 1/2,　(d) トライマー,　(e) $\langle 110 \rangle$
5. (a) $a/2$,　(b) $\langle 100 \rangle$,　(c) 1/2 0,　(d) ダイマー,　(e) $\langle 100 \rangle$

問８０　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

右図のような 2 Åの格子点間隔を有す 2 次元正方格子の結晶表面に加速電圧 15 kV の電子線を矢印の方位に視射角 6°で入射させたときの RHEED パターンを考える．この入射電子の波長は約（　a　）Åである．RHEED パターンの 0 次ラウエ帯上に存在する回折スポットの数は（　b　）個である．ただし，sin 6°＝0.105 とする．この結晶表面が 2×2 超構造に変化した場合，0 次ラウエ帯上の回折スポットの数は（　c　）個となる．一方，図と同じ結晶表面に加速電圧 150 V の電子線を垂直入射したときの LEED パターンについて考える．この入射電子の波長は約（　d　）Åであり，(1 0)ロッドへの回折スポットの表面垂直方向から測った開き角は（　e　）である．



1. (a)　1.0,　(b)　3,　(c)　5,　(d)　0.1,　(e)　60°
2. (a)　0.2,　(b)　3,　(c)　7,　(d)　0.5,　(e)　60°
3. (a)　0.2,　(b)　5,　(c)　7,　(d)　0.5,　(e)　45°
4. (a)　0.1,　(b)　5,　(c)　9,　(d)　1.0,　(e)　45°
5. (a)　0.1,　(b)　5,　(c)　9,　(d)　1.0,　(e)　30°

問８１　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

物質の振動モードを検出する手法としては（　a　）や（　b　）が良く用いられる．（　a　）が起きるためには，系の双極子モーメントがそのモードの振動によって変化を受ける必要があり，（　b　）では（　c　）が変化を受ける必要がある．（　d　）対称性がある場合には，これらの手法で観測される振動モードは相補的となり，それぞれで観測されるモードが異なる．より一般的には（　e　）を用いてどの対称性のモードが観測できるかが議論される．

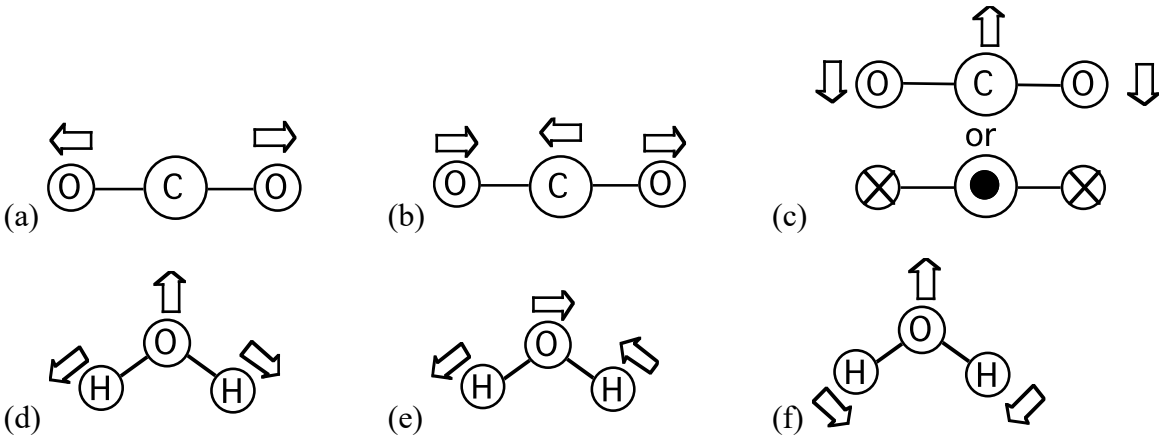
1. (a) 赤外吸収，　(b) ラマン散乱，(c) 四重極モーメント，(d) 並進，　(e) 電磁気学
2. (a) 赤外吸収，　(b) ラマン散乱，(c) 分極率，　(d) 回転，　(e) 相対論
3. (a) 赤外吸収，　(b) ラマン散乱，(c) 分極率，　(d) 反転，　(e) 群論
4. (a) ラマン散乱，(b) 赤外吸収，　(c) 透磁率，　(d) 反転，　(e) 群論
5. (a) ラマン散乱，(b) 赤外吸収，　(c) 四重極モーメント，(d) 反転，　(e) 群論

問８２　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

一般に低速電子線は表面敏感なので，表面の振動分光として（　a　）がよく用いられるが，赤外吸収やラマン散乱を用いても配置の工夫をすれば表面敏感な測定が可能となる．例えば，金属ナノ微粒子や薄膜の（　b　）共鳴や，（　c　）検出器などの高感度イメージ検出器を利用することによって，最表面や，単分子レベルのラマン散乱の検出が可能となることが知られている．通常の配置における測定では（　b　）共鳴が光学的に励起できないことから，誘電体の（　d　）を用いた手法や，金属表面の（　e　）を使うことによって（　b　）を励起することが行われる．

1. (a) HREELS, (b) プラズモン, (c) CCD, (d) 全反射, (e) 荒れ
2. (a) XPS, (b) バンド, (c) APD, (d) ブリュスター角, (e) 平坦性
3. (a) UPS, (b) エキシトン, (c) APD, (d) 全反射, (e) 荒れ
4. (a) HREELS, (b) エキシトン, (c) CCD, (d) ブリュスター角, (e) 平坦性
5. (a) UPS, (b) プラズモン, (c) CCD, (d) 屈折, (e) 荒れ

問８３　次の図 (a)～(f) は二酸化炭素，および水分子における振動モードを表したものである．このうち赤外活性モードだけをすべて含む組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．



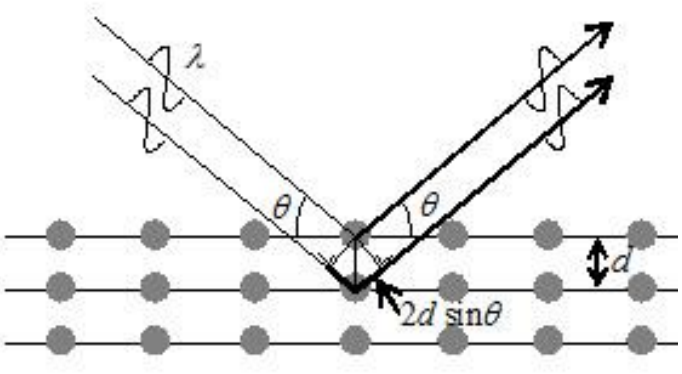
1. (a) (b) (c) (d) (e) (f),　2. (b) (c) (d) (e) (f),　3. (a) (d) (f),　4. (c) (d) (f),　5. (a) (f)

問８４　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

一般に X 線の波長領域では物質の屈折率は 1 よりわずかに小さいため，大気中から物質表面へ低い視斜角度で入射された X 線は全反射を起こし，物質中に僅かな深さしか侵入せず，表面を伝播する．この全反射を起こす最大の角度を（　a　）と呼ぶ．入射 X 線に CuKα線を用いた場合，臨界角度は普通（　b　）程度で，X線の波長が（　c　）ほど大きく，また，物質が重元素で構成され，密度が（　d　）ほど，すなわち物質の平均電子密度が（　e　）なるほど大きくなる．

1. (a) 全反射臨界角度，　(b) 5°~10°，　(c) 短い，　(d) 低い，　(e) 高く
2. (a) ブラッグ角度，　(b) 0.2°~0.5°，　(c) 長い，　(d) 低い，　(e) 高く
3. (a) 全反射臨界角度，　(b) 0.2°~0.5°，　(c) 長い，　(d) 高い，　(e) 高く
4. (a) ブラッグ角度，　(b) 0.2°~0.5°，　(c) 短い，　(d) 高い，　(e) 低く
5. (a) 全反射臨界角度，　(b) 5°~10°，　(c) 長い，　(d) 高い，　(e) 低く

問８５　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．



結晶中では，原子または原子の集まりが周期的に配列して空間格子を作っており，特定方向への X 線の散乱が干渉して互いに強め合う．この現象は（　a　）と呼ばれる．その干渉が強めあう条件は，$2d\sin q = l$（d：格子面間隔，λ：入射 X 線の波長）で与えられ，この条件を（　b　）条件と呼ぶ．この式を変形すると $\sin q = l/2d$ £1 となり，波長 λ＝1.54 Å (0.154 nm)とすると，d ＝（　c　）より短い周期を観測できないことがわかる．この現象は干渉によるものであるので，干渉に寄与する散乱体の周期配列が広い範囲（この大きさを結晶子サイズとよぶ）に亘っていれば散乱強度は強くなり，また回折ピークの幅は狭くなる．この関係を利用し，多結晶体のX線回折ピークの幅から結晶の大きさを経験則に基づき近似的に求める式が $D = Kl/b\cos q$ で与えられ，これを Scherrer の式という．（D：結晶子サイズ，K：定数，λ：X 線波長，β：結晶子サイズに拠る回折ピークの広がり（ラジアン単位），θ：ブラッグ角）このとき，個々の結晶は，結晶粒界や転位などの結晶欠陥により区切られていると考え，結晶中で（　d　）だけの散乱を起こすとして考える，運動学的回折理論が適用される．

一方，完全性の高い単結晶からの回折を考える場合，結晶中で多重散乱を考慮する必要があり，その多重散乱を考慮して回折現象を考える理論を動力学的回折理論と呼ぶ．この理論においては，どんなに大きな結晶であっても，その回折幅は（　e　）値を持つことが導かれ，その理論幅と実測の回折幅を比較することで結晶の完全性からの乱れを評価することができる．

1. (a) 回折，　(b) ブラッグ，　(c) 0.77Å，　(d) 0 回，　(e) 線型的な
2. (a) 回折，　(b) ブラッグ，　(c) 0.77Å，　(d) 1 回，　(e) 有限な
3. (a) 屈折，　(b) ラウエ，　(c) 7.7Å，　(d) 1 回，　(e) 不規則な
4. (a) 回折，　(b) 境界，　(c) 0.77Å，　(d) 1 回，　(e) 有限な
5. (a) 屈折，　(b) ラウエ，　(c) 0.77Å，　(d) 10 回，　(e) 有限な

問８６　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

炭素を構成原子とする物質には，炭素が sp^2 混成軌道からなる正六角形の平面構造を持つ（　a　）や，sp^3 混成軌道からなる 3 次元的に連なった（　b　）がある．これ以外に，クラスター構造の（　c　）や（　d　）が円筒状に巻かれた構造の（　e　）などが同素体として知られている．

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	グラフェン,	ダイヤモンド,	グラファイト,	フラーレン,	カーボンナノチューブ
2.	グラファイト,	ダイヤモンド,	フラーレン,	グラフェン,	カーボンナノチューブ
3.	カーボンナノチューブ,	グラファイト,	グラフェン,	ダイヤモンド,	フラーレン
4.	フラーレン,	グラフェン,	ダイヤモンド,	グラファイト,	カーボンナノチューブ
5.	ダイヤモンド,	フラーレン,	グラフェン,	グラファイト,	カーボンナノチューブ

問８７　次の文章中の (a)〜(d) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

固体の性質は，大きくは固体を構成する原子を結びつける凝集力の性質によって決まる．隣り合う原子の外殻電子の重なりにより，凝集力が生まれる機構を（　a　）という．固体に 2 種類の原子が含まれ，一方の原子に属していた電子がもう一方の原子に移り，両原子がクーロン力によって結合する凝集力を（　b　）という．固体の構成原子から外殻電子が離れて固体内を自由に動き，電子を失った陽イオン同士を結合させる凝集力を（　c　）という．原子は正電荷の原子核と負電荷の電子からなるが，それら正負電荷の重心がわずかに異なったときに生じる分極により原子間に凝集力が生じる機構を（　d　）という．

1. (a) 共有結合,　(b) イオン結合,(c) 金属結合,　(d) ファンデルワールス結合
2. (a) 金属結合,　(b) ファンデルワールス結合,　(c) 共有結合,　(d) イオン結合
3. (a) イオン結合,(b) 金属結合,　(c) 共有結合,　(d) ファンデルワールス結合
4. (a) 共有結合,　(b) イオン結合,(c) ファンデルワールス結合,　(d) 金属結合
5. (a) ファンデルワールス結合,(b) イオン結合,　(c) 金属結合,　(d) 共有結合

問８８　基板上に成長させた薄膜は，そのバルク結晶と異なった性質を持つことがある．以下のうち適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 基板上に成長する結晶を薄膜化すると電子の移動度が増加することがある．
(b) 半導体を薄膜化することによりバンドギャップは一般に増大する．
(c) 基板の格子定数と異なる単結晶を基板上に成長させることはできない．
(d) 基板上に成長した薄膜結晶の内部歪は，バルクよりも常に小さい．

1. (a) (b),　2. (a) (d),　3. (b) (c),　4. (b) (d),　5. (c) (d)

問８９　接合界面の性質について，以下のうち適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) Si と SiO_2 は全く異なる物質であるので，その接合の欠陥密度は Si と非晶質 Si の接合界面に比べて常に高い．
(b) 金属と半導体の接合面はオーミック接合である．
(c) 異種半導体界面を用いることにより，電子を閉じ込めることができる場合がある．
(d) 一種類の半導体だけでも整流性を示す界面形成は可能である．

1. (a) (b),　2. (b) (c),　3. (c) (d),　4. (a) (d),　5. (b) (d)

問９０　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

面心立方格子を有する結晶について表面再構成がない場合，(110)表面の 2 次元ブラベー格子は（　a　）に属し，（　b　）対称性を有す．(111)表面の 2 次元ブラベー格子は（　c　）に属し，表面の第 1 原子層のみを考えれば（　d　）対称性を有すが，第 2 原子層まで含めれば（　e　）対称性を有す．

1. (a) 長方格子,　(b) 2 回,　(c) 六方格子,　(d) 6 回,　(e) 3 回
2. (a) 長方格子,　(b) 2 回,　(c) 斜方格子,　(d) 6 回,　(e) 3 回
3. (a) 正方格子,　(b) 4 回,　(c) 斜方格子,　(d) 6 回,　(e) 2 回
4. (a) 長方格子,　(b) 4 回,　(c) 六方格子,　(d) 3 回,　(e) 6 回
5. (a) 正方格子,　(b) 4 回,　(c) 六方格子,　(d) 3 回,　(e) 6 回

問９１　赤外分析，ラマン分析に関する次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

赤外分光法はラマン分光法と同様に，分子や原子の（　a　）を測定する手段の一つであり，（　a　）分光法とも呼ばれる．赤外吸収は分子振動によって（　b　）が変化する場合に観測され，ラマン散乱は分子振動によって（　c　）が変化する場合に観測される．そのため，赤外分光法とラマン分光法は互いに（　d　）であると言われ，対称性によってどちらか一方の手法でしか観測されないケースもある．例えば，等核二原子分子による振動モードは，（　e　）でしか検出できない．

1. (a) 振動，(b) 分極率，(c) 双極子モーメント，(d) 相補的，(e) 赤外分光法
2. (a) 振動，(b) 双極子モーメント，(c) 分極率，(d) 類似的，(e) 赤外分光法
3. (a) 振動，(b) 双極子モーメント，(c) 分極率，(d) 相補的，(e) ラマン分光法
4. (a) 結合，(b) 分極率，(c) 双極子モーメント，(d) 類似的，(e) ラマン分光法
5. (a) 結合，(b) 分極率，(c) 双極子モーメント，(d) 相補的，(e) ラマン分光法

問９２　仕事関数に関する次の記述のうち，誤った記述だけを含む組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

(a) 原子レベルで平坦な結晶表面より凸凹の表面のほうが同じ物質でも仕事関数は小さい．
(b) 仕事関数とは，物質中の電子を外に取り出すのに必要なエネルギーである．
(c) 仕事関数を減らすには，電気陰性度の大きい吸着子を表面に吸着させる．
(d) 仕事関数の大きさは，結晶自体の性質と表面の性質の両方によってきまる．
(e) 同じ物質でも，原子密度の高い結晶面の方が仕事関数は小さい．

1. (a) (b),　2. (a) (d),　3. (b) (e),　4. (c) (d),　5. (c) (e)

問９３　表面状態に関する次の記述のうち，誤っているものはどれか．誤った記述だけを含む組合せを下の 1〜5 の番号で答えなさい．

(a) 表面状態は，バルク状態のバンドギャップ中にでき，電子的にバルク状態から分離している場合が多い．
(b) 表面状態の周期性はバルク状態と同じである．
(c) 表面状態は，結晶の周期性が表面で途切れることに起因して生じる．
(d) 半導体結晶表面の表面状態は必ず半導体的であり，そのエネルギーギャップはバルク状態より小さい．
(e) 共有結合性のダングリングボンド同士がある程度重なって表面バンドを作る．

1. (a) (b),　2. (a) (c),　3. (b) (d),　4. (c) (e),　5. (d) (e)

問９４　表面エネルギーに関する次の記述のうち，誤っているものはどれか．誤った記述だけを含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 結晶成長の様式は，基板や薄膜の表面エネルギーだけで決まり，基板温度や成長速度などキネティクス・パラメータには依存しない．

(b) はすの葉に水滴がつくと葉を濡らさずに丸まった水滴になるのは，はすの葉の表面エネルギーが水のそれより高いからである．

(c) 表面エネルギーの高い基板表面上に，表面エネルギーの低い物質を吸着させると，吸着物質は薄く拡がって基板表面を覆う．

(d) 凸凹した表面は表面エネルギーが高いので，平らな表面になって表面エネルギーを減らす傾向がある．

(e) 結晶を割って新しい表面を作り出すのに必要なエネルギーが表面エネルギーである．

1. (a) (b),　2. (a) (d),　3. (b) (c),　4. (c) (e),　5. (d) (e)

問９５　半導体表面・界面近傍の電気伝導に関する次の記述のうち，適切なものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 半導体結晶中を電流が流れるとき，表皮効果のために必ず表面近傍を主に流れる．
2. ショットキー障壁の高さは，表面・界面状態と関係なく，接続する金属と半導体の物質の組合せだけで決まる．
3. 蓄積層は電気伝導度が高く，空乏層と反転層は電気伝導度が低い．
4. 表面状態伝導とは，表面バンドによる電気伝導であり，バルクバンドによる電気伝導と平行した伝導パスとなる．
5. 表面・界面近傍の電気伝導度は，表面界面に垂直方向の電場を印加しても変わらないが，平行方向の電場を印加すれば変えることができる．

問９６　吸着について，適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 界面が存在すれば何らかの吸着現象が生じ，界面と吸着は切っても切れない関係にある．

(b) 広義には，任意の界面においてバルク相と組成が異なれば組成の増加（吸着）も減少（脱離）も含めて吸着と呼べる．

(c) 一般的には，固気または固液界面での特定の原子数の増加を吸着と呼ぶことが多い．

(d) 化学吸着とは，特異的・局所的な相互作用によって不可逆的に分子が吸着する現象を言う．

(e) 物理吸着とは，固体表面がもつ引力相互作用場に分子がほぼ不可逆的に吸着する現象を言う．

1. (a) (b) (c),　2. (a) (c) (d),　3. (a) (c) (e),　4. (b) (c) (e),　5. (b) (d) (e)

問９７　通常真空を~~必ず~~必要とする分析法は次のうちどれか．適切な略語の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) EXAFS,　(b) AES,　(c) SIMS,　(d) FIM,　(e) STM

1. (a) (b) (c),　2. (a) (b) (d),　3. (a) (c) (e),　4. (b) (c) (d),　5. (b) (d) (e)

問９８　通常大気中で測定不可能な分析法は次のうちどれか．適切な略語の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) EXAFS,　(b) XPS,　(c) STM,　(d) FIM,　(e) RBS

1. (a),　2. (a) (d),　3. (b) (c),　4. (c) (e),　5. (b) (d) (e)

問９９　プローブ（入力／刺激）として電子を用いる分析法は次のうちどれか．適切な略語だけをすべて含む組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) EPMA,　(b) XPS,　(c) EELS,　(d) PIXE,　(e) PEEM

1. (a) (c),　2. (b) (c),　3. (c) (e),　4. (a) (b) (d),　5. (a) (c) (e)

問１００　プローブとして電磁波（光または X 線）を用いる分析法は次のうちどれか．適切な略語の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) EPMA,　(b) PIXE,　(c) PEEM,　(d) EELS,　(e) XPS

1. (b) (d),　2. (d) (e),　3. (c) (e),　4. (a) (b) (e),　5. (a) (c) (d)

問１０１　プローブ（入力／刺激）としてイオンを用いる分析法は次のうちどれか．適切な略語の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) XPS,　(b) LEED,　(c) RBS,　(d) EELS,　(e) PIXE

1. (a) (d),　2. (a) (e),　3. (b) (c),　4. (b) (d),　5. (c) (e)

問１０２　応答（信号）として電子を用いる分析法は次のうちどれか．適切な略語の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) AES,　(b) APFIM,　(c) RHEED,　(d) PEEM,　(e) EPMA

1. (a) (b) (c),　2. (a) (c) (d),　3. (a) (d) (e),　4. (b) (c) (e),　5. (c) (d) (e)

問１０３　応答（信号）として電磁波（光または X 線）を用いる分析法は次のうちどれか．適切な略語の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) SEM,　(b) EPMA,　(c) FTIR,　(d) AES,　(e) ISS

1. (a) (b),　2. (a) (e),　3. (b) (c),　4. (b) (d),　5. (c) (e)

問１０４　応答（信号）としてイオンを用いる分析法は次のうちどれか．適切な略語の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) ISS,　(b) AES,　(c) RHEED,　(d) APFIM,　(e) SIMS

1. (a) (b) (c),　2. (a) (c) (e),　3. (a) (d) (e) ,　4. (b) (d) (e),　5. (c) (d) (e)

問１０５　ナノスケールで生じる摩擦に関する次の記述のうち，誤っているものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. スティック・スリップ運動の振る舞いは温度に依存する．
2. 摩擦力顕微鏡の探針が試料表面と共有結合しているときよりも，物理結合しているときの方が，探針が滑る際に生じる摩擦力が大きい．
3. 摩擦力顕微鏡で表面をこするとき，荷重が増加するほど水平力曲線のヒステリシスループは大きくなる．
4. 摩擦力顕微鏡で力を検出するバネが硬いほど，摩擦は測定しにくくなる．
5. 接触界面でスティック・スリップ運動が起きるとき，エネルギー散逸の主原因となるのはスリップ運動である．

問１０６　単層吸着分子が二次元六方最密格子を作っている．この二次元格子の単位ベクトルの長さを a とする．この吸着層の二次元逆格子の単位ベクトルの長さは次のうちどれか．1～5 の番号から選びなさい．

1. $\frac{a}{2}$,　2. $\frac{\sqrt{3}a}{2}$,　3. $\frac{2}{\sqrt{3}a}$,　4. $\frac{1}{2a}$,　5. $\frac{2}{a}$

問１０７　次の文章中の (a)～(b) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

電子の固体内における平均自由行程は電子エネルギー40～70 eV で約（　a　）である．このエネルギーよりも小さい場合は平均自由行程は（　b　）くなる．

1. (a) 1 nm,　　(b) 短
2. (a) 0.1 nm,　　(b) 短
3. (a) 1 nm,　　(b) 長
4. (a) 0.5 nm,　　(b) 長
5. (a) 0.8 nm,　　(b) 短

問１０８　次の文章中の (a)～(c) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

JIS では超高真空とは（　a　）Pa 以下の真空（低い圧力）であると定義されている．（　b　）Pa 以下の真空については（　c　）とよぶことがある．

1. (a) 10^{-3},　(b) 10^{-9},　(c) 極高真空
2. (a) 10^{-6},　(b) 10^{-9},　(c) 極高真空
3. (a) 10^{-6},　(b) 10^{-9},　(c) 高真空
4. (a) 10^{-4},　(b) 10^{-8},　(c) 極高真空
5. (a) 10^{-4},　(b) 10^{-8},　(c) 高真空

問１０９　金属表面に電子線照射を行ったときに金属表面から放出される電子の種類のうち，適切でないものだけをすべて含む組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 弾性散乱電子,　(b) オージェ電子,　(c) 二次電子,　(d) 光電子,
(e) 背面散乱電子,　(f) 熱電子

1. (d) (f),　2. (a) (b) (c),　3. (b) (c) (e),　4. (d) (e) (f),　5. (a) (b) (c) (e)

問１１０　次の分析手法のうち，結晶や分子中の原子結合に寄与する電子状態の情報を得ることが出来る手法はどれか．適切な手法の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) オージェ電子分光法,　(b) 二次イオン質量分析法,　(c) 光電子分光法,
(d) 低速電子回折法,　(e) イオン散乱法,　(f) X 線吸収端近傍構造分光法

1. (a) (b) (e),　2. (a) (c) (d),　3. (a) (c) (f),　4. (b) (d) (e),　5. (b) (e) (f)

問１１１　X 線の波長（λ nm）とエネルギー（E eV）の関係を表す式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．（プランク定数 h= 6.63×10^{-34} J・s，光速度 c = 3.00×10^{8} m，素電荷 q = 1.60×10^{-19} C）

1. λ=1.24/E，2. λ=1.24×10^{2}/E，3. λ=1.24×10^{3}/E，4. λ=1.24/$E^{1/2}$，5. λ=1.24×10^{3}/$E^{1/2}$

問１１２ ド・ブロイによれば陽電子の運動量と波長（λ）の間には $\lambda = h/p$（ここに h はプランク定数，p は運動量）の関係がある．陽電子のド・ブロイ波長（λ nm）と陽電子のエネルギー(E eV)の関係を表す式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．ただし相対論的な補正を考えないとする．（プランク定数 h = 6.6×10^{-34} J・s，素電荷 q = 1.6×10^{-19} C，陽電子質量 m = 9.1×10^{-31} kg）

1. λ=1.2/$E^{1/2}$，2. λ=1.2×10^{-2}/$E^{1/2}$，3. λ=1.2/E，4. λ=1.2×10^{-2}/E，5. λ=1.2×10^{-1}/$E^{1/2}$

問１１３　ド・ブロイによればすべての物質は波としての性質を持つ．H（水素）原子のド・ブロイ波長(λ nm)と H 原子のエネルギー(E eV)の関係を表す式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．ただし，相対論的な補正を考えないとする．（プランク定数 h = 6.6×10^{-34} J・s，水素原子量 M = 1，アボガドロ数 N_A = 6.0×10^{23} /mol）

1. λ=2.8×10^{-3}/$E^{1/2}$，2. λ=2.8×10^{-3}/E，3. λ=2.8×10^{-1}/$E^{1/2}$，4. λ=2.8×10^{-2}/$E^{1/2}$，5. λ=2.8×10^{-2}/E

問１１４　電子の波長は相対論的補正を考慮しない場合，$\lambda = (h^2/2meV)^{1/2}$ で表される．ここで h はプランク定数（6.6×10^{-34} J・s），m は電子の質量（9.1×10^{-31} kg），e は電子の電荷（1.6×10^{-19} C），V は加速電圧である．反射高速電子回折（RHEED）でよく使用される 15 kV の加速電圧における電子線の波長に近い値は次のうちどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 0.0010 nm，2. 0.010 nm，3. 0.012 nm，4. 0.10 nm，5. 0.12 nm

問１１５　ド・ブロイによればすべての物質は波としての性質を持つ．中性子のド・ブロイ波長(λ nm)とエネルギー(E eV)の関係を表す式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．ただし，相対論的な補正を考えないとする．また，プランク定数 h = 6.6×10^{-34} J・s，中性子の質量は 1.67×10^{-27} kg とする．

1. λ = 2.8×10^{-1}/$E^{1/2}$，2. λ = 2.8×10^{-3}/E，3. λ = 2.8×10^{-2}/$E^{1/2}$，4. λ = 2.8×10^{-3}/$E^{1/2}$，
5. λ = 2.8×10^{-2}/E

問１１６　電子の波長は相対論的補正を考慮しない場合，$\lambda = (h^2/2meV)^{1/2}$ で表される．　h はプランク定数（6.6×10^{-34} J· s），m は電子の質量（9.1×10^{-31} kg），e は電子の電荷（1.6×10^{-19} C），V は加速電圧である．低速電子回折でよく使用される 150 V の加速電圧における電子線の波長に近い値は次のうちどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 1.2 nm,　2. 1.0 nm,　3. 0.12 nm,　4. 0.10 nm,　5. 0.012 nm

問１１７　下記の測定法のうち真空を必要とするものはどれか．適切な方法の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 赤外分光法（IR），(b) X 線光電子分光法（XPS），(c) 電子エネルギー損失分光法（EELS），(d) 低速電子回折法（LEED），(e) イオン散乱分光法（ISS），(f) 走査トンネル顕微鏡（STM）

1. (a) (b) (c),　2. (a) (e) (f),　3. (b) (c) (d) (e),　4. (c) (e) (f),　5. (d) (e) (f)

問１１８　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

物質研究のプローブとして陽電子線を用いた場合，物質の屈折率は 1 より（　a　）ので，陽電子線は真空中よりも（　b　）角度で試料内部に入射する．陽電子が物質内部に入射すると，僅かではあるが物質内の平均内部ポテンシャル分だけ陽電子の運動エネルギーは（　c　）し，その結果，陽電子の波長は僅かに（　d　）なる．特に（　e　）入射視射角の反射高速陽電子回折では全反射効果が現れる．

1. (a) 大きい，(b) 深い，(c) 増加，(d) 長く，(e) 低い
2. (a) 小さい，(b) 浅い，(c) 減少，(d) 短く，(e) 高い
3. (a) 大きい，(b) 浅い，(c) 増加，(d) 長く，(e) 低い
4. (a) 小さい，(b) 浅い，(c) 減少，(d) 長く，(e) 低い
5. (a) 大きい，(b) 深い，(c) 増加，(d) 短く，(e) 低い

問１１９　表面エネルギーに関する次の記述のうち，適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 表面エネルギーの高い基板表面上に，表面エネルギーの低い物質を吸着させると，吸着物質は薄く拡がって基板表面を覆う．

(b) はすの葉に水滴がつくと葉を濡らさずに丸まった水滴になるのは，はすの葉の表面エネルギーが水のそれより高いからである．

(c) 凸凹した表面は表面エネルギーが高いので，平らな表面になって表面エネルギーを減らす傾向がある．

(d) 結晶成長の様式は，基板や薄膜の表面エネルギーだけで決まり，基板温度や成長速度などキネティクス・パラメータには依存しない．

(e) 固体から新たに単位面積の表面を作り出すのに必要なエネルギーが表面エネルギーである．

1. (a) (b) (d),　2. (a) (c) (e),　3. (c) (d) (e),　4. (a) (d) (e),　5. (b) (c) (d)

問１２０　次の記述のうち，適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 屈折率 1.5 のガラス基板に，基板面法線方向から波長 500 nm の光を入射するとき，光の反射をゼロにするには，屈折率が 1.23，厚さ 150 nm の透明な反射防止膜をコーティングすればよい．

(b) 屈折率 1.5 のガラス基板に，波長 500 nm の光を入射するとき，ガラス基板面に平行な偏光成分の反射率がゼロになるような入射角が存在する．

(c) 基板上に，膜厚 1 μm の金の薄膜があるとき，特定の波長（500 nm 付近）より短波長側の垂直入射光に対しては，反射率はほぼ 100 %となる．

(d) 基板上に，島状成長した金の薄膜があるとき，分光反射率は，島のサイズに依存して変化する．

(e) ガラス基板に，ITO 膜（透明導電膜）を 1 μm 成膜したところ，近赤外線が反射されるようになった．

1. (a) (c),　2. (a) (e),　3. (b) (c),　4. (b) (d),　5. (d) (e)

問１２１　次の記述のうち，適切な記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) Si ナノ粒子において，明確な量子サイズ効果が観測されるのは，粒径が 3 nm 以上の場合である．

(b) 有機半導体薄膜では，誘電率が小さいため，光照射により励起された電子正孔対は，クーロン力の束縛を逃れられず，中性の励起子として移動することが多い．

(c) 薄膜の電気抵抗を測定する場合，電極は 6 箇所必要である．

(d) 同じ不純物添加濃度では，結晶質シリコンのほうが，非晶質シリコンより電気抵抗が大きい．

(e) GaAs 薄膜内での電子の平均自由行程は，0.1 μm程度であり，膜厚がこれより薄くなると電気抵抗は急激に上昇する．

1. (a) (d) ,　　2. (b) (c) ,　　3. (b) (d) ,　　4. (b) (e) ,　　5. (d) (e)

問１２２　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

（　a　）の関係式で表されている電子の波動性は（　b　）や G. P. トムソンらの結晶による（　c　）の実験で実証された．格子面間隔 d が既知の結晶により（　d　）の式（　e　）から角度 θ を測定することによって電子線の波長 λ を求めることができる．

1. (a) アインシュタイン，(b) ダビッソン，(c) 光電効果，(d) ブラッグ，(e) $2d\sin\theta = n\lambda$
2. (a) ブラッグ，(b) 菊池正史，(c) X 線回折，(d) ラウエ，(e) $2d\sin\theta = n\lambda$
3. (a) ド・ブロイ，(b) 菊池正史，(c) 電子回折，(d) コンプトン，(e) $E=h\nu$
4. (a) アインシュタイン，(b) 菊池正史，(c) 光電効果，(d) コンプトン，(e) $E=h\nu$
5. (a) ド・ブロイ，(b) ダビッソン，(c) 電子回折，(d) ブラッグ，(e) $2d\sin\theta = n\lambda$

問１２３　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

J. J. トムソンによって電子の（　a　）が測定され，さらに（　b　）によって電子の電荷自体が測定されることによって，電子が一定の電荷と質量をもつ粒子であることが示された．一方，ダビッソンや（　c　）らが，結晶による（　d　）の現象によって電子の波動性を示した．光の波動性は（　e　）の二重スリットの干渉実験によって示されていたが，光の粒子性は光電効果の実験で実証された．

1. (a) 比電荷,　(b) ミリカン,　(c) G. P. トムソン,　(d) 電子回折,　(e) ヤング
2. (a) 質量,　(b) ミリカン,　(c) ジャーマー,　(d) 電子回折,　(e) G. P. トムソン
3. (a) スピン,　(b) ラウエ,　(c) 菊池正史,　(d) 光電効果,　(e) フック
4. (a) 比電荷,　(b) ケルビン,　(c) G. P. トムソン,　(d) 光電効果,　(e) ヤング
5. (a) 質量,　(b) リチャードソン,　(c) ケルビン,　(d) 反射,　(e) ニュートン

問１２４　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

（　a　）成長においては，基板と（　a　）薄膜の（　b　）を一致させる必要がある．（　b　）が一致しない場合，結晶中には（　c　）が蓄積され，熱力学的にも不安定になり，（　d　）転位が導入される（　e　）が存在することが知られている．

1. (a) アモルファス,　(b) 熱膨張係数,　(c) 結合エネルギー,　(d) 貫通,　(e) 限界膜厚
2. (a) エピタキシャル,　(b) 格子定数,　(c) 歪エネルギー,　(d) 貫通,　(e) 臨界膜厚
3. (a) アモルファス,　(b) 熱膨張係数,　(c) 結合エネルギー,　(d) 貫通,　(e) 限界膜厚
4. (a) エピタキシャル,　(b) 格子定数,　(c) 歪エネルギー,　(d) ミスフィット,　(e) 臨界膜厚
5. (a) エピタキシャル,　(b) 弾性定数,　(c) 歪エネルギー,　(d) ミスフィット,　(e) 限界膜厚

問１２５　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

薄膜が下地の結晶に対して一定の方位関係を持ちながら成長する場合，（　a　）薄膜という．基板と薄膜が同じ物質である場合を（　b　）成長，異なる物質の場合を（　c　）成長と呼ぶ．また，（　a　）薄膜を多数積層し，組成と結晶周期を人為的に制御して作製した結晶を（　d　）格子と呼ぶ．（　a　）成長を行うためには（　e　）の値が近い結晶を選ぶと良い．

1. (a) エピタキシャル，(b) ホモ，(c) ヘテロ，(d) 人工，(e) 格子定数
2. (a) エピタキシャル，(b) ヘテロ，(c) ホモ，(d) 自然，(e) 格子定数
3. (a) アモルファス，(b) ヘテロ (c) ホモ，(d) 人工，(e) 格子定数
4. (a) エピタキシャル，(b) ホモ，(c) ヘテロ，(d) 人工，(e) 熱膨張係数
5. (a) アモルファス，(b) ホモ，(c) ヘテロ，(d) 自然，(e) 熱膨張係数

問１２６　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

X線を物質に照射すると（　a　）によって散乱される．その散乱メカニズムは，（　b　）と（　c　）がある．（　b　）は，電磁波であるX線の振動電場により電子が振動することによって，同じ周波数の X 線を再放射する．これが散乱 X 線となる．この現象はマクスウェル方程式で記述され，X 線の（　d　）を示している．一方，（　c　）は，X 線が電子と弾性衝突することによって，電子にエネルギーと運動量を受け渡すために，入射 X 線の振動数と異なる散乱 X 線が生じる．これはX線の（　e　）を示す現象である．

1. (a) 原子核，(b) ラザフォード散乱，(c) ブラッグ散乱，(d) 透過性，(e) 遮蔽性
2. (a) 電子，(b) トムソン散乱，(c) コンプトン散乱，(d) 波動性，(e) 粒子性
3. (a) 結晶格子，(b) トムソン散乱，(c) コンプトン散乱，(d) 波動性，(e) 粒子性
4. (a) 原子核，(b) ラザフォード散乱，(c) トムソン散乱，(d) 粒子性，(e) 波動性
5. (a) 電子，(b) コンプトン散乱，(c) ラザフォード散乱，(d) 粒子性，(e) 波動性

問１２７ 次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

X 線は，個々の原子の電子によって散乱されるので，（ a ）が大きい原子ほど X 線散乱能は高い．その原子の散乱能を定量的に表すの量が（ b ）である．結晶の単位胞に複数個の原子が存在しているとき，各原子からの散乱 X 線が干渉するので，それらの散乱 X 線を位相まで含めて足しあわせることによって，単位胞からの散乱 X 線を計算できる．それを表す量が（ c ）である．結晶は，単位胞が規則的に多数積み重なったものとみなせるが，各単位胞からの散乱 X 線も干渉するので，ここでも位相まで含めて散乱 X 線を足し合わせる必要がある．その効果は（ d ）で表され，その結果，整数の指数のみに回折波の強度が出ることになる．これらをすべて考え合わせると回折スポットの強度が計算できるが，位相が打ち消しあうことで（ c ）がゼロとなる（ e ）のために，回折信号が観測されない指数もある．

1. (a) 原子番号，(b) 原子散乱因子，(c) 結晶構造因子，(d) ラウエの回折関数，(e) 消滅則
2. (a) 質量数，(b) 原子散乱断面積，(c) 結晶散乱断面積，(d) ブラッグの回折関数，(e) 二重回折
3. (a) 中性子数，(b) 原子散乱断面積，(c) 結晶構造因子，(d) ガウス関数，(e) X 線回折
4. (a) 原子番号，(b) 原子散乱因子，(c) 結晶構造因子，(d) ローレンツ関数，(e) 消滅則
5. (a) 質量数，(b) 原子散乱断面積，(c) 結晶構造因子，(d) ラウエの回折関数，(e) X 線回折

問１２８ 次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な語句の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

金属内の電子を外に取り出す方法として，（ a ），（ b ），（ c ），（ d ）の４つがある．仕事関数より大きな運動エネルギーを電子が得て外に飛び出して来るのが前者３つであり，最後の一つはトンネル効果によって電子が外に出てくる．（ a ）で得られる電子の数と金属の温度との関係はリチャードソンの式で記述される．（ b ）で得られる電子のエネルギーはアインシュタインの光量子理論を利用して求められる．（ c ）の電子は，物質に高エネルギーの電子やイオンを照射して得られる．（ d ）の方法で得られる電子線は（ a ）の方法の電子線より（ e ）に優れている．

1. (a) 熱電子放出，(b) 光電子放出，(c) ２次電子放出，(d) エキソ電子放出，(e) 連続性
2. (a) 電界電子放出，(b) 熱電子放出，(c) ２次電子放出，(d) 蛍光電子放出，(e) 指向性
3. (a) 弾道電子放出，(b) エキソ電子放出，(c) 散乱電子放出，(d) 蛍光電子放出，(e) 指向性
4. (a) 熱電子放出，(b) 光電子放出，(c) ２次電子放出，(d) 電界電子放出，(e) 単色性
5. (a) 光電子放出，(b) 熱電子放出，(c) ２次電子放出，(d) 電界電子放出，(e) 単色性