問１　半導体表面に関する次の文章中の (a)～(e) に入れる語句として適切な組合せを下の 1～5 の中から選びなさい．

最新の精密表面加工製品の代表的な半導体素子の設計分野では，（　a　）以下の微細・多層薄膜化に伴い，有機汚染による（　b　）低下の問題が発生している．その有機汚染の現象は，各種表面分析装置によって解析されているが，雰囲気やプラスチック材からの有機物が，対象表面への（　c　）によって結果に影響を与える可能性があるので，正確に有機物の（　c　）挙動を評価することが重要である．（　d　）や分析室の構造材などもその発生源の一つである．

1. (a) 1 μm,　(b) 絶縁性,　(c) 蒸着,　(d) 分析装置
2. (a) 1 μm,　(b) 絶縁性,　(c) 吸着,　(d) 分析装置
3. (a) 1 μm,　(b) 歩留・信頼性,　(c) 蒸着,　(d) 分析法
4. (a) 100 nm,　(b) 歩留・信頼性,　(c) 吸着,　(d) 分析装置
5. (a) 100 nm,　(b) 歩留・信頼性,　(c) 蒸着,　(d) 分析法

問２　走査電子顕微鏡（SEM）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) 鏡体部は電子銃，集束レンズ，対物レンズで構成され，輝度の高い走査電子プローブを作る．

(b) SEM の装置は大きく分けて鏡体部（光学レンズ系），試料室，質量分析計，像制御部（ディスプレイ系）で構成される．

(c) 試料は XY 軸移動，回転，傾斜機構を備えた試料台に装着される．導電性のない試料でも，前処理なしで高加速電圧での超高分解能が得られる．

(d) 鏡体部，試料室，試料交換室は 10^{-3} Pa 程度に排気されているが，電界放射 SEM（FESEM）の場合には電子銃部のみ 10^{-8} Pa 台の超高真空に保つ必要がある．

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

問３　15 kV で加速された電子線が物質に入射したときに生じる現象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) 二次電子として観測されるものはすべて原子の内殻に束縛されていた電子が放出されたものである．

(b) 表面から数 μm 以内にある原子が入射電子によりイオン化されて特性 X 線を放出する．

(c) 入射電子はエネルギーを失いながら物質中に数 10 nm まで侵入して停止する．

(d) 反射電子は主に表面近くの原子により散乱された電子から成っている．

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

問４　走査電子顕微鏡（SEM）に関する次の説明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) SEM 像の分解能は電子線のエネルギー分布による色収差，電子レンズの近軸からはずれた電子線による球面収差，および，電子レンズの非対称性などによる非点収差などが影響する．このうち非点収差は装置の操作時に補正可能である．

(b) 二次電子放出率は入射電子線の加速電圧で数 100 V～1 kV で最大である．

(c) 入射電子が絶縁体試料中に蓄積されて試料が帯電し SEM 画像に異常を生じるが，加速電圧を下げること，表面を傾けることなどにより二次電子放出率を大きくしてこれを避けることができる場合がある．

(d) 二次電子像からわかることは，定量的な元素組成と表面の凹凸である．

(e) 反射電子は表面から数 nm の領域で散乱されるので，埋もれた構造を見ることはできない．また反射電子の量は試料表面が平坦な場合，構成元素の原子番号に反比例する．

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

問５　電子線マイクロアナライザー（EPMA）について不適切な記述はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 元素の定量分析が可能である．
2. すべての元素の定性分析が可能である．
3. 放出された X 線のスペクトルにより組成分析が可能である．
4. 数 100 nm～数 μm 領域の組成分析が可能である．
5. 測定に利用される X 線は特性 X 線である．

問６　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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) 結晶モノクロメータにより X 線を分光する波長分散型と半導体検出器によりエネルギー分析を行うエネルギー分散型の EPMA がある．

(b) 入射電子エネルギーを高くすると X 線発生領域とイオン化断面積がともに単調に増加するため，検出される X 線強度も単調に増加する．

(c) 入射電子線の侵入深さは近似的に電子線エネルギーの約 1.7 乗に比例し，試料の密度と平均原子番号に反比例する．

(d) 試料内部で発生した X 線は，表面から脱出するまでに吸収を受け，その結果蛍光 X 線が発生するので吸収補正と原子番号補正を行う必要がある．

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

問７　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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) 軽元素を分析する場合，入射電子エネルギーを高くするとイオン化断面積が小さくなる．

(b) 発生する X 線の波長が原子の結合状態によって変化するため，状態分析に利用されることもある．

(c) 半定量分析には成分量が分かっている標準試料を必ず必要とする．

(d) 入射電子線を走査していくつかの元素の特性 X 線を測定することにより，元素分布を表示することができる．

(e) EPMA で得られる成分元素濃度はモル濃度であるが，容易に重量濃度に変換できるので重量濃度で表示されることもある．

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

問８　下記の手法のうち，電子の回折現象を用いる分析手法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) 電子線マイクロアナライザー（EPMA），(b) 電子エネルギー損失分光法（EELS），
(c) 低速電子回折法（LEED），(d) 反射高速電子回折法（RHEED），
(e) 透過電子顕微鏡（TEM），(f) 走査電子顕微鏡（SEM），

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

問９　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．透過電子顕微鏡でよく使用される 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どれか．1～5 の番号で答えなさい．

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

問１０　透過電子顕微鏡（TEM）には，集束可動絞，対物可動絞，制限視野絞がある．それぞれの絞の役割について適切な記述の組合せはつぎのどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 対物可動絞は，対物レンズの後焦点面にあり試料の透過ビームを選択すると暗視野像が，散乱・回折した電子ビームを選択すると明視野像が得られる．
(b) 集束可動絞の孔径を小さくすると平行かつ干渉性の良い電子ビームを得ることができる．
(c) 制限視野絞は，試料の視野領域を選択してその領域からの電子回折図形を得る役割を持つ．
(d) 集束可動絞は入射する電子線の集束角を変える役割を持ち，孔径を小さくすることにより試料の微小部分に電子ビームを集中させることができる．
(e) 対物可動絞により複数の透過あるいは回折電子ビームを選択すると，電子ビームの干渉により格子像を観測することが可能となる．

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

問１１　電子顕微鏡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) 走査透過電子顕微鏡は電子銃と磁気レンズからなり，レンズ系は集束レンズ（照射用対物レンズ）および試料透過後の対物レンズからなっている．
(b) 走査透過電子顕微鏡は電子銃と磁気レンズからなり，レンズ系は集束レンズ（照射用対物レンズ）のみからなる．
(c) 磁気レンズでは像は回転する．
(d) 磁気レンズでは像の回転はない．
(e) 通常の市販の透過電子顕微鏡は電子銃と磁気レンズからなり，レンズ系は集束レンズと対物レンズおよび投影レンズを使用し，中間レンズは使っていない．
(f) 通常の市販の透過電子顕微鏡は電子銃と磁気レンズからなり，レンズ系は集束レンズ，対物レンズ，中間レンズ，および投影レンズを使っている．

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

問１２　通常の透過電子顕微鏡において，高い空間分解能を得るために必要とされる条件の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 集束レンズの収差を小さくする．
(b) 投影レンズの収差を小さくする．
(c) 電子源から放出される電子のエネルギー分布を小さくする．
(d) 電子銃に用いる電子源の面積を小さくする．
(e) 対物レンズの収差を小さくする．

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

問１３　電子顕微鏡におけるフラウンホーファー回折図形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) 中間レンズの焦点を対物レンズの後焦点面に合わせて回折図形を得る．
(b) 回折図形は物体の 0 倍の像である．
(c) 中間レンズの焦点を対物レンズの像面に合わせて回折図形を得る．
(d) 回折図形は物体の倍率無限大の像である．
(e) 透過電子顕微鏡では中間レンズで倍率を変化させて回折図形を得る．

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

問１４　通常の透過電子顕微鏡（TEM）の制限視野回折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) 制限視野絞りは対物レンズの結像面に置く．
(b) 制限視野絞りは中間レンズの結像面に置く．
(c) 制限視野回折では，回折図形の反射指数の方向と視野内の結晶方位の方向は一致する．
(d) 制限視野回折では，回折図形の反射指数の方向と視野内の結晶方位の方向は一致しない．
(e) 制限視野回折ではレンズの収差の影響で制限領域外からの回折図形が混在する．
(f) 制限視野回折ではレンズの収差の影響はない．

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

問１５　走査透過電子顕微鏡について，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) 空間分解能は集束レンズ（照射用対物レンズ）の収差が小さいほど良い．
(b) 空間分解能は集束レンズ（照射用対物レンズ）の収差にはよらない．
(c) 電子銃から放出される電子のエネルギー幅は空間分解能に影響しない．
(d) 電子銃から放出される電子のエネルギー幅は空間分解能に影響する．
(e) 電子源の面積が小さいほど空間分解能は高くなる．
(f) 空間分解能は電子源の面積にはよらない．

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

問１６　透過電子顕微鏡の対物レンズの収差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) 加速電圧の変動は球面収差の原因となる．
(b) 球面収差は対物絞りの孔径を大きくするほど大きくなる．
(c) 絞りの汚れは対物レンズの収差の原因にはならない．
(d) 球面収差は電子顕微鏡の分解能に大きな影響を与える．

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

問１７　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．

結晶性試料に電子が入射すると，（　a　）現象によって特定の方向に強く曲げられる電子がある．この電子が対物絞りでカットされて生じるのは（　b　）コントラストである．（　c　）薄膜を 1 万倍程度で撮影した像においては，このコントラストが支配的である．試料をまっすぐに通過した電子波と試料で曲げられた電子波が対物絞りを通過した後に（　d　）する結果生じるのが（　e　）コントラストである．（　f　）像のコントラストはこの典型的な例である．

1.	(a) 回折,	(b) 散乱,	(c) アモルファス,	(d) 散乱,	(e) 透過,	(f) 暗視野
2.	(a) 干渉,	(b) 位相,	(c) 金属,	(d) 回折,	(e) 回折,	(f) 明視野
3.	(a) 透過,	(b) 透過,	(c) 絶縁体,	(d) 干渉,	(e) 回折,	(f) 結晶格子
4.	(a) 回折,	(b) 回折,	(c) 金属,	(d) 干渉,	(e) 位相,	(f) 結晶格子
5.	(a) 散乱,	(b) 位相,	(c) 金属,	(d) 回折,	(e) 散乱,	(f) 結晶格子

問１８　金属試料を透過電子顕微鏡観察するときに電子照射損傷を少なくするために有効な方法に関する適切な記述の組合せはどれか．次の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 加速電圧を低くする．
(b) 電子線を収束して像を明るくする．
(c) 試料の厚さをできるだけ薄くする．
(d) 小さな孔径の集束絞りを用いる．

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

問１９　エネルギー分散型 X 線分光法（EDS）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) X線の蛍光励起の補正を必要とする．
(b) 同時に多数の元素の分析が可能である．
(c) Si単結晶に微量のLiをドープした半導体検出器では，検出器の冷却が必要である．
(d) 波長分散型 X 線分光法（WDS）に比べてエネルギー分解能が高い．

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

問２０　透過電子顕微鏡を用いた結晶材料の電子回折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) 回折スポットは対物レンズの後焦点面に形成される．
(b) 回折スポットの位置は加速電圧を変えても変化しない．
(c) 結晶格子面間隔が大きいほど回折スポットの間隔は小さくなる．
(d) 回折現象は試料による電子の吸収によって生じる．

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

問２１　電子エネルギー損失分光法（EELS）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) 電子を試料に照射して電子エネルギーを損失したときに放出される光スペクトルを測定する．

(b) 電子を試料に照射し，透過あるいは反射電子のエネルギースペクトルを測定する．

(c) 試料に入射した電子の内殻電子励起による損失エネルギーを知ることによって定性分析が出来る．

(d) 原理的に結晶表面の分子振動を測定できない．

(e) エネルギーE_pの電子が試料に入射し，E_1のエネルギーを 1 回だけ損失したとすると$E_p - E_1$のエネルギーが測定される．

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

問２２　反射電子エネルギー損失分光法（REELS）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) 装置は，分析室，電子銃を内蔵した電子エネルギー分析器とその制御電源，検出部，データ処理部で構成される．

(b) 電子構造を見るので，ダイヤモンド膜とグラファイト膜のように同一元素からなる試料ではスペクトルに明確な差が出ない．

(c) 入射電子エネルギーを数 10 eV～2000 eV の範囲で変えることにより，表面第 1 層から数層の部分の電子構造の非破壊深さ方向解析ができる．

(d) 収束電子線を用いれば，数 μm 以上の領域に限って電子構造を調べることが可能である．

(e) ダングリングボンド準位など表面第 1 層に局在した電子準位や，吸着原子の電子準位など最表面の電子構造を知ることができる．

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

問２３　電子エネルギー損失分光法（EELS）は試料を透過した電子のエネルギーと強度を測定して試料の電子状態や励起原子とその近傍の局所構造に関する情報を得る方法である．試料に入射した電子ビームのうち透過 EELS の信号として利用されるものは次のどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 原子と衝突せずに試料を透過した電子
(b) 試料中の原子によって弾性散乱を受けた電子
(c) 試料中にプラズモンを励起してエネルギーを失った電子
(d) 原子の内殻電子を励起してエネルギーを失った電子
(e) 二次電子や連続 X 線を励起してエネルギーを失った電子

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

問２４　走査トンネル顕微鏡（STM）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) STM 像は表面原子位置（原子核の位置）の像である．
(b) STM 像は表面の電子分布の像である．
(c) 表面の電子状態を測定できる．
(d) ほとんどあらゆる環境で測定できる．
(e) 真空中でのみ測定可能である．

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

問２５　原子間力顕微鏡（AFM）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) ほとんど全ての固体表面の測定が可能である．
(b) 探針は表面に接触させなければならない．
(c) AFM 像は表面原子位置（原子核の位置）の像である．
(d) ほとんど全ての環境で測定が可能である．
(e) AFM は表面の凹凸を観測できる．

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

問２６　原子間力顕微鏡（AFM）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．

接近する 2 つの物体間には必ず力がはたらくため，板ばね状のカンチレバーの先端にある探針を試料表面に近づけると，カンチレバーは探針－試料間の力によって（　a　）の場合には試料方向に，（　b　）ではその反対方向に曲がる．カンチレバーの（　c　）は通常既知なので，この微小な曲がり（変位）を測定することによって，探針－試料間に働く局所的な力を知ることができる．この力を測定しながら試料（あるいは探針）を二次元走査することで，試料表面の相互作用力分布の二次元像が得られる．また，この力の信号を一定にするように試料の z 方向の位置を帰還制御しながら試料を走査し，各点での試料の（　d　）を記録することで，表面の三次元的な微細形状像も得ることができる．この原子間力顕微鏡（AFM）は，動作環境に対する制約は少なく，空気中，真空中，（　e　）等での測定が可能である．

1. (a) 斥力,　(b) 引力,　(c) 熱伝導率,　(d) 振動数,　(e) 液体中
2. (a) 引力,　(b) 斥力,　(c) 弾性定数,　(d) 移動量,　(e) 液体中
3. (a) 引力,　(b) 斥力,　(c) 弾性定数,　(d) 振動数,　(e) 液体中
4. (a) 斥力,　(b) 引力,　(c) 弾性定数,　(d) 振動数,　(e) 固体中
5. (a) 斥力,　(b) 引力,　(c) 熱伝導率,　(d) 移動量,　(e) 固体中

問２７　走査トンネル顕微鏡（STM）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) 凹凸情報と共に分光情報も得られる表面構造観察法である．
(b) 表面観察だけでなく，原子・分子操作・表面改質などの手段ともなる．
(c) 干渉像のため，試料に周期性があるときに高い感度で観察できる．
(d) 装置は非常に大型，高価であり，他の表面分析手法との複合化が難しい．
(e) 超高真空中，空気中，液体中，超低温，室温，高温で動作しうるため，試料に適した環境のもとで観察できる．

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

問２８　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．

原子間力顕微鏡（AFM）のカンチレバーは，通常,（　a　）から微細加工技術で作られる．そのため，カンチレバー先端の突起の材料は，通常,（　b　）から出来ている．しかし,（　c　）で作製された探針もある．また,（　d　）探針のような（　e　）測定などの様々な用途に合わせた特殊な材料をコートした探針もある．

1. (a) ガラス,　(b) ガラス,　(c) ダイヤモンド,　(d) PtIr,　(e) 導電性
2. (a) シリコンウェハー, (b) シリコン,　(c) ガラス,　(d) 水晶,　(e) 熱伝導
3. (a) 水晶,　(b) 水晶,　(c) 窒化ガリウム,　(d) 磁性薄膜,　(e) 磁気力
4. (a) シリコンウェハー, (b) シリコン,　(c) シリコンナイトライド,　(d) 水晶,　(e) 熱伝導
5. (a) シリコンウェハー, (b) シリコン,　(c) シリコンナイトライド,　(d) 磁性薄膜,　(e) 磁気力

問２９　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．

アスペクト比が大きい溝を原子間力顕微鏡（AFM）で測定する場合は, 長さと直径の比が（　a　）探針を持つ特殊なカンチレバーや探針先端に（　b　）を付けたカンチレバーなどが使われる．また,（　c　）引力領域で原子分解能を得る場合は,（　d　）力を減らすように先端曲率半径が（　e　）以下の鋭く尖らす処理を行った探針が使われる．

1. (a) 小さい,　(b) 金薄膜,　(c) 強い,　(d) 短距離,　(e) 数 10 nm
2. (a) 小さい,　(b) カーボンナノチューブ,　(c) 微弱な,　(d) 短距離,　(e) 数 nm
3. (a) 小さい,　(b) 金薄膜,　(c) 強い,　(d) 長距離,　(e) 数 nm
4. (a) 大きい,　(b) カーボンナノチューブ,　(c) 微弱な,　(d) 長距離,　(e) 数 nm
5. (a) 大きい,　(b) カーボンナノチューブ,　(c) 微弱な,　(d) 短距離,　(e) 数 10 nm

問３０　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．

走査トンネル顕微鏡（STM）では（　a　）探針先端から（　b　）試料表面に流れるトンネル電流を測定している．トンネル電流は，片側の電極のフェルミ面近傍の電子が他方の電極のフェルミ面近傍の（　c　）準位にトンネルすることにより電流が流れる．そのため，トンネル電流は片側の電極のフェルミ面近傍の電子の数に（　d　）して，その電子数はフェルミ面近傍の電子の状態密度と電子のフェルミ分布関数の（　e　）で決まる．

1. (a) 導電性，　(b) 導電性，(c) 空いている，　(d) 比例，　(e) 積
2. (a) 絶縁性，　(b) 導電性，(c) 詰まっている，(d) 依存，　(e) 差
3. (a) 絶縁性，　(b) 絶縁体，(c) 詰まっている，(d) 関係，　(e) 差
4. (a) 導電性，　(b) 導電性，(c) 詰まっている，(d) 比例，　(e) 積
5. (a) 絶縁性，　(b) 導電性，(c) 空いている，　(d) 比例，　(e) 積

問３１　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．

原子間力顕微鏡（AFM）では探針先端と試料表面間に働く相互作用を測定している．相互作用のうち，（　a　）やイオン結合による力などは（　b　）に寄与する短距離力である．また，静電気力，（　c　），（　d　）などは，原子分解能には寄与しない（　e　）である．

1. (a) 磁気力，　(b) 空間分解能，(c) 共有結合による力，(d) 金属結合による力，(e) 摩擦力
2. (a) 共有結合による力，(b) 空間分解能，(c) 共有結合による力，(d) 金属結合による力，(e) 摩擦力
3. (a) 共有結合による力，(b) 原子分解能，(c) 磁気力，(d) ファンデルワールス引力，(e) 長距離力
4. (a) 摩擦力，　(b) 原子分解能，　(c) 磁気力，　(d) 水素結合による力，(e) 長距離力
5. (a) 凝集力，　(b) 高分解能，　(c) 摩擦力，　(d) ファンデルワールス引力，(e) 長距離力

問３２　⇒　欠番（削除）

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．

走査プローブ顕微鏡の代表的なものには，（ a ），（ b ）や（ c ）などがあり，それぞれ，（ d ），（ e ），SNOM（または NSOM）と略される．

1. (a) 走査トンネル顕微鏡, (b) 走査電子顕微鏡, (c) 原子間力顕微鏡, (d) MFM, (e) AFM
2. (a) 磁気力顕微鏡, (b) 走査電子顕微鏡, (c) 走査イオン顕微鏡, (d) MFM, (e) SEM
3. (a) 走査トンネル顕微鏡, (b) 原子間力顕微鏡, (c) 走査電子顕微鏡, (d) STM, (e) SEM
4. (a) 磁気力顕微鏡, (b) 走査電子顕微鏡, (c) 走査近接場光学顕微鏡, (d) STM, (e) AFM
5. (a) 走査トンネル顕微鏡, (b) 原子間力顕微鏡, (c) 走査近接場光学顕微鏡, (d) STM, (e) AFM

問３４　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．

原子間力顕微鏡（AFM）に基づいた相互作用力を測定する顕微鏡には，接触状態で測定する（ a ），非接触状態で測定する（ b ），磁気力顕微鏡，ケルビンプローブ力顕微鏡，走査キャパシタンス顕微鏡などがあり，それぞれ，（ c ），（ d ），（ e ），KPFM，SCM と略される．

1. (a) 光学顕微鏡, (b) 電子顕微鏡, (c) OM, (d) EM, (e) MFM
2. (a) 摩擦力顕微鏡, (b) 静電気力顕微鏡, (c) FFM, (d) EFM, (e) SMM
3. (a) 摩擦力顕微鏡, (b) 静電気力顕微鏡, (c) FFM, (d) EFM, (e) MFM
4. (a) 光学顕微鏡, (b) 静電気力顕微鏡, (c) OM, (d) EFM, (e) MFM
5. (a) 走査トンネル顕微鏡, (b) 非弾性トンネル顕微鏡, (c) STM, (d) STM-IETS, (e) SPM

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．

走査プローブ顕微鏡における原子操作には，探針電圧による（ a ）や探針による力学的操作や非弾性トンネル現象を用いた（ b ）による方法などがある．力学的水平操作には（ c ）で原子を捕らえて引きずるモードと引力で原子をジャンプさせるモードと（ d ）で原子を移動させるモードがある．

1. (a) 垂直原子操作, (b) 振動分光, (c) 斥力, (d) 探針
2. (a) 電界蒸発, (b) 振動励起, (c) 斥力, (d) 探針
3. (a) 電界蒸発, (b) 振動励起, (c) 引力, (d) 斥力
4. (a) 電界蒸発, (b) 振動分光, (c) 斥力, (d) 探針
5. (a) 垂直原子操作, (b) 振動分光, (c) 引力, (d) 斥力

問３６　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．

光を利用する走査プローブ顕微鏡には，（ a ）を使わない光学顕微鏡である（ b ）以外に，トンネル電流変調を測定する光励起 STM や（ c ）注入によるプラズモン発光などを測定する（ d ）などがある．

1. (a) ピンホール，(b) 二光子顕微鏡，(c) ホール，(d) STM 発光分光顕微鏡
2. (a) 電流，(b) 共焦点光学顕微鏡，(c) ホール，(d) STM 発光分光顕微鏡
3. (a) レンズ，(b) 近接場光学顕微鏡，(c) イオン，(d) 非弾性トンネル顕微鏡
4. (a) 電流，(b) 共焦点光学顕微鏡，(c) イオン，(d) 非弾性トンネル顕微鏡
5. (a) レンズ，(b) 近接場光学顕微鏡，(c) トンネル電流，(d) STM 発光分光顕微鏡

問３７　⇒　欠番（削除）

問３８　⇒　欠番（削除）

問３９　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．

走査型トンネル顕微鏡で半導体や金属を観察する場合，試料に正のバイアス電圧を印加すると試料側の（ a ）が，負のバイアス電圧を印加すると（ b ）がトンネル電流に寄与する．バイアス電圧が十分に大きい場合，半導体では空準位には（ c ）の状態密度，占有準位には（ d ）の状態密度が寄与する．小さなバイアス電圧であると空準位と占有準位の両方に（ e ）が寄与する．選択肢の，LUMO は最低非占有分子軌道，HOMO は最高占有分子軌道である．

1. (a) 非占有分子軌道，(b) 空準位，(c) HOMO，(d) LUMO，(e) 状態密度
2. (a) 占有分子軌道，(b) 占有準位，(c) 伝導帯，(d) 価電子帯，(e) 表面準位
3. (a) 空準位，(b) 空準位，(c) HOMO，(d) LUMO，(e) 状態密度
4. (a) 空準位，(b) 占有準位，(c) 伝導帯，(d) 価電子帯，(e) 表面準位

問４０　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．

走査トンネル顕微鏡で分子を観察する場合，試料に正の（　a　）を印加すると試料の（　b　）が，負のバイアス電圧を印加すると（　c　）がトンネル電流に寄与する．通常は，正のバイアス電圧では（　d　）が，負のバイアス電圧では（　e　）が寄与する．選択肢の，LUMO は最低非占有分子軌道，HOMO は最高占有分子軌道である．

1. (a) バイアス電圧,　(b) 非占有分子軌道,　(c) 占有分子軌道,　(d) LUMO,　(e) HOMO
2. (a) 原子間力,　(b) 伝導帯,　(c) 価電子帯,　(d) 表面準位,　(e) 状態密度
3. (a) バイアス電圧,　(b) 非占有分子軌道,　(c) 価電子帯,　(d) 表面準位,　(e) 状態密度
4. (a) 原子間力,　(b) 伝導帯,　(c) 占有分子軌道,　(d) LUMO,　(e) HOMO
5. (a) バイアス電圧,　(b) 伝導帯,　(c) 価電子帯,　(d) 表面準位,　(e) 状態密度

問４１　オージェ電子分光法（AES）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) KLL オージェ電子は入射電子によって K 殻にホールを生成し，L 殻から K 殻に電子が遷移するときに放出されるエネルギーを得て，L 殻から放出される電子である．
(b) KLL オージェ電子は入射電子によって K 殻にホールを生成し，L 殻から K 殻に電子が遷移するときに放出されるエネルギーを得て，K 殻から放出される電子である．
(c) KLL オージェ電子の運動エネルギーE は近似的に $E = E_K - 2E_L$ である．ここで，E_K, E_L はそれぞれ K 殻および L 殻準位のエネルギーである．
(d) KLL オージェ電子の運動エネルギーE は近似的に $E = E_K - E_L - \phi$ である．ここで E_K, E_L はそれぞれ K 殻および L 殻準位のエネルギーで，ϕ は仕事関数である．
(e) 非破壊で深さ方向分析が通常の方法でも可能である．
(f) 通常の方法では非破壊で深さ方向分析は難しい．

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

問４２　オージェ電子分光法（AES）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) 検出できる濃度の限界は，0.1 at% 程度である．
(b) 水素以外の全元素の分析ができる．
(c) 表面の 1～10 原子層程度（5 nm 以下）の表面層を分析する．
(d) 最小分析領域は，機種に依存するが小さい場合は数 10 μm となる．
(e) ピーク形状の違いから化学結合状態が区別できる場合もある．

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

問４３　次の表面分析法（A 群）とその原理（B 群）について適切な組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

A 群

(1) X 線光電子分光法
(2) 反射高速電子回折法
(3) オージェ電子分光法
(4) 広域 X 線微細構造解析法
(5) 二次イオン質量分析法

B 群

(a) 試料に 1～10 keV の電子ビームを照射し，それによって試料の深さ数 nm 程度から放出された内殻電子のエネルギーより，表面近傍の原子種の特定やその電子状態を分析する手法.
(b) 試料表面にイオンビームを照射し，それによって試料表面から放出されたイオンを質量分析計で検出する手法.
(c) X 線吸収端の高エネルギー側の振動スペクトルの解析から，局所的な原子構造についての情報が得られる手法.
(d) 試料表面にすれすれ入射条件で 10～30 keV の電子ビームを照射し，散乱された電子強度の解析から試料の最表面層の結晶構造を解析する手法.
(e) 試料表面に X 線を照射し，それによって試料の深さ数 nm 程度から放出された内殻電子のエネルギーより，表面近傍の原子種の特定やその電子状態を分析する手法.

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

問４４　オージェ電子分光法と X 線光電子分光法が表面分析に適している理由を述べた次の文章中の (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．

オージェ電子や（　a　）は，固体内を移動する際に（　b　）を受けてエネルギーを失う．発生した電子がエネルギーを失わないで移動する距離は，電子分光で測定するエネルギー範囲では，ほぼ（　c　）である．このため，表面近傍で発生した電子のみがエネルギーを（　d　）固体外部に放出され，ピークとして観測される．これが，電子分光法で表面近傍のみの情報が得られる理由である．

1. (a) 光電子,　(b) 非弾性散乱,　(c) 数原子層,　(d) 失わずに
2. (a) 光電子,　(b) 非弾性散乱,　(c) 数原子層,　(d) 失って
3. (a) X 線,　(b) 非弾性散乱,　(c) 数 100 原子層,　(d) 失って
4. (a) 光電子,　(b) 弾性散乱,　(c) 数 100 原子層,　(d) 失わずに
5. (a) X 線,　(b) 弾性散乱,　(c) 数 100 原子層,　(d) 失わずに

問４５　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．

X 線光電子分光法（XPS）のスペクトル内には，光電子ピークとともにオージェ電子ピークが観測される． X 線を Mg-Kα（1253.6 eV）から Al-Kα（1486.6 eV）に変えると光電子ピークの運動エネルギーは（　a　）．オージェ電子のエネルギーは（　b　）．しかし，表示を結合エネルギーとした XPS スペクトルでは，オージェ電子のピーク位置は（　c　）．

1. (a) 変化しない,　(b) 変化しない,　(c) 変化しない
2. (a) 低エネルギー側にシフトする,　(b) 高エネルギー側にシフトする,　(c) 高エネルギー側にシフトする
3. (a) 高エネルギー側にシフトする,　(b) 変化しない,　(c) 高エネルギー側にシフトする
4. (a) 変化しない,　(b) 低エネルギー側にシフトする,　(c) 低エネルギー側にシフトする
5. (a) 低エネルギー側にシフトする,　(b) 高エネルギー側にシフトする,　(c) 変化しない

問４６　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 線光電子分光法（XPS）やオージェ電子分光法（AES）の分析深さを推定する際には通常，（　a　）という物理量を利用することが多く，（　b　）のアルゴリズムが用いられる事が一般的で，（　c　）と呼ばれている．これらの計算結果は（　d　）の運動エネルギーで適用可能と考えられており，運動エネルギーが大きくなると（　a　）の値は（　e　）．

1. (a) 光イオン化断面積,　(b) Tougaard,　(c) σ,　(d) 100eV 以上,　(e) 単調増加する
2. (a) 非弾性平均自由行程, (b) Tanuma-Powel-Penn,　(c) TPP-2M, (d) 100eV 以上,　(e) 単調増加する
3. (a) 光イオン化断面積,　(b) Scofield,　(c) σ,　(d) 全て,　(e) 変化しない
4. (a) 非弾性平均自由行程, (b) Tanuma-Powel-Penn,　(c) TPP,　(d) 100eV 以上,　(e) 変化しない
5. (a) 光イオン化断面積,　(b) Shirley,　(c) MRI,　(d) 200eV 以上,　(e) 単調減少する

問４７　X 線光電子分光法（XPS）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) 原理的に組成分析が可能である．
(b) H，He を除く全ての元素の定性，定量分析が可能である．
(c) X 線のエネルギーが大きいので超高真空は必要ない．
(d) 光電子スペクトルは元素の化学結合状態を反映している．
(e) 全ての元素の定性，定量分析が可能である．

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

問４８　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．

試料表面にエネルギー幅の狭い軟 X 線（エネルギー：hν）を照射したとき，（　a　）により試料中の原子の内殻・外殻電子が真空中に放出される．この光電子のエネルギー（E_k）は元の原子中で占めていた電子軌道のエネルギーレベル（結合エネルギー；E_B）を反映しており次式で表わされる．

$$E_k = h\nu - (E_B + \phi)$$

ここで ϕ は試料の（　b　）を表わしている．

X 線光電子分光法は，光電子のエネルギーとその数を測定することによって表面近傍に存在する元素の量やその元素の周囲の環境，すなわち元素の化学結合状態を特定する手法である．このとき電子のエネルギーは（　c　）まで正確に測定する必要がある．

また，XPS 法の特徴の１つに，非晶質，（　d　）にかかわらず，化学結合状態を知ることができるが，このとき電子の運動エネルギー基準の設定，分析領域内における部分的な（　e　）

の相殺などが化学結合状態を測定する上での重要なテクニックになる．

1. (a) 光電効果，　(b) 誘電関数，　(c) 1 eV，　(d) 絶縁物，　(e) 帯電
2. (a) 光電効果，　(b) 仕事関数，　(c) 1 eV，　(d) 液体，　(e) 表面汚染
3. (a) 光電効果，　(b) 仕事関数，　(c) 0.1 eV，　(d) 絶縁物，　(e) 帯電
4. (a) 磁場効果，　(b) 仕事関数，　(c) 1 eV，　(d) 液体，　(e) 表面汚染
5. (a) 磁場効果，　(b) 誘電関数，　(c) 0.1 eV，　(d) 液体，　(e) 帯電

問４９　X 線光電子分光法（XPS）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) 検出限界は，0.1 at% 程度である．
(b) 表面下数 nm 程度の表面層を分析することができる．
(c) X 線励起オージェ電子ピークを用いて化学結合状態を調べることができる．
(d) H を除くすべての元素の定性，定量分析ができる．
(e) 非晶質や絶縁物を除けば，元素の化学結合状態を知ることができる．

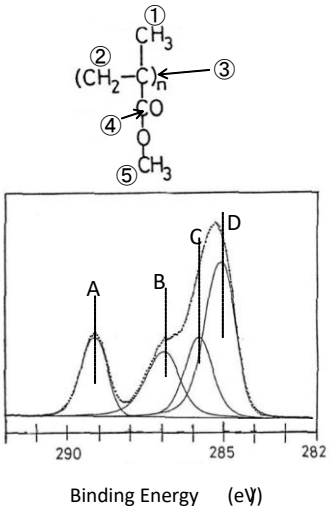
1. (a) (b) (c)，　2. (a) (b) (e)，　3. (a) (d) (e)，　4. (b) (c) (d)，　5. (c) (d) (e)

問５０　下記の測定法で仕事関数の絶対値を測定できるものはどれか．適切なもの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) 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. (b)，　2. (e)，　3. (a) (b)，　4. (e) (f)，　5. (a) (b) (c) (d) (e) (f)

問５１　右図に，あるポリマー分子の C1s 領域の光電子スペクトルを示す．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 1～5 の番号で答えなさい．



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

問５２　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．

Ｘ線光電子分光法（XPS）では，一般的に電気陰性度の大きな元素と化学結合する元素のピーク位置は，（　a　）ことが多く，その配位数が増えた時，シフト量は（　b　）．

1. (a) 低結合エネルギー側にシフトする，　(b) 変化しない
2. (a) 低結合エネルギー側にシフトする，　(b) 小さくなる
3. (a) 高結合エネルギー側にシフトする，　(b) 変化しない
4. (a) 高結合エネルギー側にシフトする，　(b) 大きくなる
5. (a) 変化しない，　(b) 変化しない

問５３　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．

Ｘ線光電子分光法(XPS)の電子分光器は，（　a　）が一般的に用いられており，インプットレンズで分光器に入る電子のエネルギーを（　b　）にするため，運動エネルギーが（　c　），そのエネルギー分解能は（　d　）．

1. (a) 阻止電場型，　(b) 加速，　(c) 大きくなると，　(d) 高分解能化する
2. (a) 静電半球型，　(b) 加速，　(c) 変わっても，　(d) 変化しない
3. (a) 円筒鏡型，　(b) 加速，　(c) 小さくなると，　(d) 劣化する
4. (a) 円筒鏡型，　(b) 一定に，　(c) 変わると，　(d) 大きく変化する
5. (a) 静電半球型，　(b) 一定に，　(c) 変わっても，　(d) 変化しない

問５４　最近のＸ線光電子分光法(XPS)装置ではＸ線光源にモノクロメータを利用することが多い．モノクロメータを利用することによる利点と欠点が最も適切に述べられている組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

1. 利点：低照射損傷，高 S/N，マルチアングル同時測定，定量精度向上，
   欠点：帯電しやすくなる
2. 利点：高感度，高エネルギー分解能，高 S/N，マルチアングル同時測定，
   欠点：照射損傷が激しい
3. 利点：低照射損傷，高エネルギー分解能，バックグラウンドが低下，
   欠点：帯電しやすくなる
4. 利点：高感度，軸あわせが容易，高エネルギー分解能，バックグラウンドが低下，
   欠点：照射損傷が激しい
5. 利点：低照射損傷，高感度，定量精度向上，バックグラウンドが低下，
   欠点：帯電しやすくなる

問５５　二次イオン質量分析法（SIMS）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)　深さ方向分析が可能である．
(b)　非破壊分析が可能である．
(c)　定量分析のためには標準試料が必要である．
(d)　全元素の分析が可能である．
(e)　標準試料なしに定量分析が出来る．

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

問５６　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（SIMS）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　）イオンを用いるとそれぞれ正および負の二次イオン検出効率が高くなる．走査型 SIMS による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) イオン化,　(b) 質量分析,　(c) 大きい,　(d) ヘリウム,　(e) ガリウム
3. (a) イオン化,　(b) 質量分析,　(c) 小さい,　(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) セシウム,　(e) ガリウム
5. (a) 中性化,　(b) 発光分析,　(c) 大きい,　(d) ヘリウム,　(e) セシウム

問５７　ダイナミック二次イオン質量分析法（D-SIMS）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) 数 100 pm～数 nm の深さ分解能で，表面から μm オーダーまでの広い範囲で深さ方向分析ができる．
(b) 試料の位置を高さ方向に移動することによって元素の深さ方向分布が得られる．
(c) 標準試料なしで，不純物元素の定量分析ができる．
(d) ppb～ppm レベルでの高感度分析ができる．
(e) 水素をはじめ全元素の分析が可能である．

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

問５８　⇒　欠番（削除）

問５９　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 希ガス元素の分析は一般に困難である．
(b) マトリックス効果を利用することにより定量性の良い分析が可能である．
(c) 一次イオンの衝突による反跳のため元素の深さプロファイルが乱れることがある．
(d) 表面近傍では定量および深さ分解能の良い分析は難しい．
(e) RBS に比べて定量性の良い分析が可能である．

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

問６０　ラザフォード後方散乱法（RBS）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) 原理的に全ての元素の組成分析が出来る．
(b) RBS の分析室は超高真空を必要とする．
(c) 原理的に非破壊で深さ方向分析が出来る．
(d) 標準試料なしに組成の定量分析が出来る．
(e) 表面から μm 程度の深さまで分析が可能である．

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

問６１　ラザフォード後方散乱法（RBS）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) 試料の損傷はほとんど無く，非破壊深さ方向分析ができる．
(b) サブ nm の深さ分解能で表面から μm 程度の深さ方向元素分布の測定ができる．
(c) 標準試料を用いなければ組成の定量分析ができない．
(d) 絶縁物の測定は比較的容易である．
(e) 結晶性や欠陥の評価が行える．

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

問６２　ラザフォード後方散乱法（RBS）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) ラザフォード散乱断面積は原子番号にほぼ比例する．
(b) 通常の測定では深さ分解能は 10 nm 程度である．
(c) 水素の分析は原理的に不可能である．
(d) 重元素試料中に存在する軽元素の分析に特に有効である．
(e) 同じエネルギーのイオンを使う場合，水素イオンの方がヘリウムイオンよりも深くまで分析できる．

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

問６３　イオン散乱における散乱断面積に関する適切な記述の組合せどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 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．
(b) 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．
(c) 散乱断面積は散乱角に依存しない．
(d) 散乱断面積は散乱角が小さいほど大きい．
(e) 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) 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) (d) (e),　3. (b) (c) (e),　4. (b) (d) (e),　5. (b) (d)(f)

問６４　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　）は通常，高エネルギーイオン散乱に分類され，照射イオンには（　b　）や（　c　）が多く用いられ，散乱イオンの検出には通常(　d　)が用いられる．（　a　）は，（　e　）薄膜の深さ方向組成分析が可能である．

1. (a) RBS,　(b) H,　(c) He,　(d) 半導体検出器,　(e) イオンスパッタせずに
2. (a) ISS,　(b) Ne,　(c) Ar,　(d) 磁場型検出器,　(e) イオンスパッタにより
3. (a) RBS,　(b) H,　(c) He,　(d) 半導体検出器,　(e) イオンスパッタにより
4. (a) ISS,　(b) H,　(c) He,　(d) 磁場型検出器,　(e) イオンスパッタせずに
5. (a) RBS,　(b) Ne,　(c) Ar,　(d) 半導体検出器,　(e) イオンスパッタせずに

問６５　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．

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

問６６　低エネルギーイオン散乱分光法（ISS）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) 原理的に表面の原子配列の解析が可能である．
(b) 静電型アナライザーを用いると，希ガスイオンによる散乱は表面に非常に敏感になる．
(c) イオン散乱におけるシャドウコーンの大きさは入射イオンの種類によらない．
(d) 表面の元素分析が可能である．
(e) イオン散乱におけるシャドウコーンの大きさはターゲット原子の種類によらない．

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

問６７　中エネルギーイオン散乱法（MEIS）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) RBS に比べて定量性が非常に優れている．
(b) 分析の原理は RBS と同じである．
(c) 1 nm 以下の深さ分解能を得ることも可能である．
(d) H イオンよりも He イオンを使う方が深さ分解能は良い．
(e) 原理的にすべての元素の分析が可能である．

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

問６８　中エネルギーイオン散乱法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) 表面障壁型の半導体検出器が使われる．
(b) 静電型もしくは磁場型のアナライザーが使われる．
(c) 入射イオンには Ne や Ar イオンが使われる．
(d) 高エネルギーイオン散乱法よりも，表面に敏感である．
(e) 同一照射量では，高エネルギーイオン散乱法よりも試料の照射損傷が大きい．

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

問６９　低エネルギーイオン散乱分光法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)　表面障壁型の半導体検出器が使われる．
(b)　静電型または飛行時間型のアナライザーが使われる．
(c)　入射イオンには He や Ne イオンなどが使われる．
(d)　高エネルギーイオン散乱法よりも定量精度が高い．
(e)　表面原子配列に敏感である．

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

問７０　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 数 100 keV から数 MeV のイオン（一次イオン）を試料に照射し，スパッタリングにより試料表面から発生したイオン（二次イオン）を検出する分析手法である．
(b) 一般にＸ線光電子分光法（XPS），オージェ電子分光法（AES），ラザフォード後方散乱法（RBS）よりも微量な元素の分析が可能である．
(c) 水素を検出できる唯一の表面分析法である．
(d) 希ガス元素の分析は一般に困難である．
(e) 標準試料を使わない場合，定量性の良い分析は困難である．

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

問７１　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 最近の SIMS 分析では一次イオンとして Ar イオンや Xe イオンが良く用いられる．
(b) 二次イオン強度（counts/s）は一次イオン電流量だけでなく一次イオンエネルギーや入射角に依存する．
(c) 二次イオン化率は一次イオン種に強く依存する．
(d) 深さ方向分解能は一次イオンエネルギーに依存しない．
(e) スパッタ収率（atoms/ion）やスパッタ速度（nm/s）は一次イオンエネルギーや入射角に強く依存する．

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

問７２　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．

ダイナミック SIMS には，二次イオンの質量分離を行う質量分析器の形式に応じて四重極型，二重収束型と呼ばれる装置がある．（ a ）型質量分析器の特徴は(b)質量分解能，高感度にて分析できることである．一方，（ c ）型質量分析器の特徴は，（ d ）イオン照射が行いやすいため深さ方向で（ e ）分解能が得られることである．

1. (a) 四重極，(b) 低，(c) 二重収束，(d) 低エネルギー，(e) 低
2. (a) 二重収束，(b) 高，(c) 四重極，(d) 低エネルギー，(e) 高
3. (a) 四重極，(b) 高，(c) 二重収束，(d) 高エネルギー，(e) 高
4. (a) 四重極，(b) 低，(c) 二重収束，(d) 高エネルギー，(e) 低
5. (a) 二重収束，(b) 低，(c) 四重極，(d) 低エネルギー，(e) 高

問７３　ダイナミック二次イオン質量分析法（D-SIMS）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) 分布の深さは，一次イオンにより掘られたスパッタクレータの深さから較正される場合が多い．

(b) 相対感度係数は測定対象元素のみに依存し，その対象元素が含まれるマトリックス材料には依存しない．

(c) 濃度定量に用いられる相対感度係数は測定対象不純物元素とマトリックス材料の構成元素の二次イオン強度の比から計算する．

(d) 相対感度係数は注入ドーズ量が既知のイオン注入試料を用いて評価することができる．

(e) スパッタクレータの深さは原子間力顕微鏡で測定することが多い．

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

問７４　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．

二次イオン質量分析法（SIMS）において，深さ方向分解能を向上させるためにはつぎの点に注意すればよい．①（ a ）イオンを用いてミキシング効果を（ b ）する．② イオン照射による表面ラフネスを（ c ）する分析条件を選択する．③ スパッタクレータのクレータ底が試料表面に対して（ d ）ようにイオンビームを調整し，スパッタクレータの（ e ）からの二次イオンを検出する．

1. (a) 低エネルギー，(b) 促進，(c) 抑制，(d) 傾斜する，　(e) 中心
2. (a) 高エネルギー，(b) 抑制，(c) 促進，(d) 平行になる，(e) 周囲
3. (a) 低エネルギー，(b) 抑制，(c) 抑制，(d) 傾斜する，　(e) 中心
4. (a) 高エネルギー，(b) 促進，(c) 抑制，(d) 平行になる，(e) 周囲
5. (a) 低エネルギー，(b) 抑制，(c) 抑制，(d) 平行になる，(e) 中心

問７５　粒子励起 X 線分析（PIXE）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) 測定に利用される X 線は特性 X 線である．

(b) 原理的に分析できない元素が存在する．

(c) 電子線マイクロアナライザー（EPMA）に比べると S/N 比が悪い．

(d) 一般に試料は数 mg 程度あれば分析が可能である．

(e) 通常の測定では深さ分解能は 10 nm 程度である．

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

問７６　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．

電界イオン顕微鏡では，超高真空チャンバで Ar や He などの結像ガスを 10^{-3} Pa 程度導入し，冷却した金属探針に（　a　）の高電界を印加する．高電界によって分極した結像ガス原子は表面に引き寄せられ，冷却された金属鏡面上でホッピングする際に熱エネルギーを失う．探針近傍の結像ガス原子から，トンネリングにより電子が金属側に移動するため，結像ガス原子は（　b　）に帯電して，最後は真空側に放出される．電界イオン化の確率は，探針先端原子のうち電界の集中するステップやキンクの原子で高くなっている．表面の原子配列構造に対応した強度分布を持つ放出イオンのイメージを，（　c　）したスクリーンに拡大して投影することで，針状試料上のステップやキンクの拡大イメージが得られるのである．

1. (a) 正,　(b) 正,　(c) 接地
2. (a) 負,　(b) 正,　(c) 負電圧を印加
3. (a) 交流,　(b) 負,　(c) 交流電圧を印加
4. (a) 正,　(b) 負,　(c) 正電圧を印加
5. (a) 負,　(b) 正,　(c) 接地

問７７　下記の手法のうち，主に試料中で X 線の回折現象を用いた分析手法はどれか．適切なもの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 線回折法,　(b) 蛍光 X 線法,　(c) 電子線マイクロアナライザー,
(d) X 線光電子分光法,　(e) X 線吸収分光法

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

問７８　電子回折法と比較した X 線回折法の特徴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) 大気中や特殊雰囲気中で測定が可能である．
(b) 通常は 10 mm 程度の領域の平均構造の情報とともに 10 nm 以下の微小領域の構造の分布も得られる．
(c) 格子定数を高精度に決定できる．
(d) 有機材料では電子ビームに比べて照射損傷を無視できない．
(e) 透過性が大きいので表面に出ていない埋もれた界面を評価できる．

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

問７９　薄膜の面内（in-plane）回折法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) 平行 X 線を細く絞り，薄膜表面に全反射臨界角の数倍程度以上の角度で入射させる．
(b) 数 nm 程度の極めて薄い膜からの回折を得ることができる．
(c) 入射角度を変えることで深さ方向分析が可能である．
(d) 薄膜試料の基板や下地からの信号を減少させることが困難である．

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

問８０　多結晶体の X 線回折に伴うバックグラウンド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) バックグラウンドの原因のひとつは結晶中の原子が熱振動しているためであり，検出器の前にモノクロメータ結晶を入れるとどのような場合でも完全にバックグラウンドを除くことができる．
(b) CuKα 線による回折では，X 線源の直後に Ni フィルターを入れると完全にバックグラウンドを除くことができる．
(c) バックグラウンドのひとつの原因は試料に含まれる原子による蛍光 X 線である．
(d) バックグラウンドの主な原因は入射 X 線のうち連続 X 線成分による回折である．
(e) バックグラウンドの原因は多くの結晶粒がランダムな方向を向いているためである．

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

問８１　結晶による X 線の回折ピーク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) 回折ピークの半値幅は試料に含まれる結晶子（微結晶）の平均の大きさに比例する．
(b) 積分強度は回折を生じた結晶子成分の体積分率に比例するとともに，結晶子の配向にも依存する．
(c) 回折の強度として採用することが適切なのは積分強度である．
(d) 多結晶による回折ピークの高さは多結晶成分の体積と結晶構造因子に比例する．

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

問８２　X 線反射率法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) X 線は，物質の表面または異なった物質の界面で反射される．

(b) 試料は，結晶質の材料に限られる．

(c) 表面および界面の凹凸が原子数個以内程度に平坦であることが必要である．

(d) 非破壊で多層膜の評価ができる．

(e) X 線の反射は薄膜表面と薄膜-基板界面両側の物質の屈折率差によるので，薄膜の組成が既知であれば密度を評価できる．

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

問８３　図 1 は結晶表面の原子配列である．この表面に矢印方向から電子線を入射し，反射方向の平面スクリーンに反射高速電子回折（RHEED）図形を投影して観測した．この表面が無限に平坦であるとして，そのときに現れる適切な図形はどれか．図 2 の 1～5 の番号で答えなさい．ただし RHEED 図形中の円弧は RHEED スポットのガイドのためであり，無視して構わない．

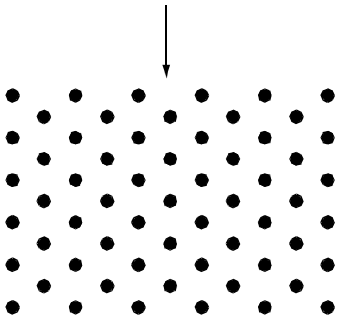


図 1　表面の原子配列　矢印は電子線の入射方向

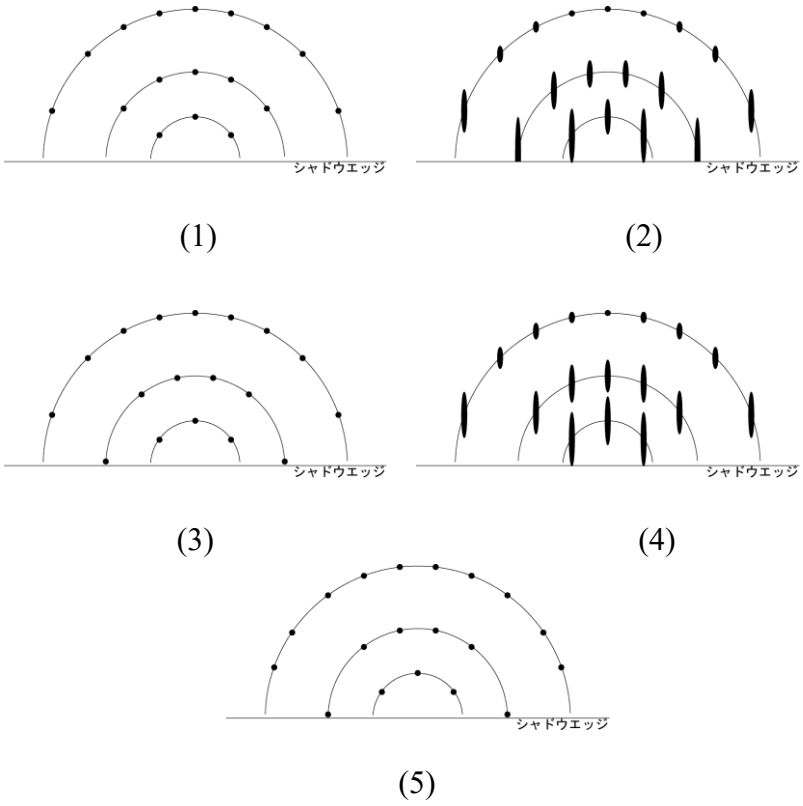


図 2　RHEED 図形

問８４　反射高速電子回折（RHEED）についての下記の記述のうち適切な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) 表面すれすれの斜入射角で電子を入射する．

(b) 蒸着中の試料表面を直接観察することが出来る．

(c) RHEED で用いる数 10 keV 程度の電子では平均自由行程が長いので，表面敏感な測定手法とは言えない．

(d) RHEED は表面の形状に非常に敏感なので，表面核形成，表面でのファセットの形成，エピタキシャル成長の研究に用いられる．

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

問８５　下の文中の (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．

低速電子回折（LEED）では通常，表面を中心とする球面スクリーンに回折図形を投影して観測する．そのときに現れる図形は逆格子ロッドを表面（　a　）方向に切断した断面を表面（　b　）方向に投影した図形と相似である．図 1 の表面原子配列がある場合，その逆格子の表面法線方向の投影図は図 2（　c　）である．従って，表面上方から見た回折図形は図 3（　d　）のようになる．

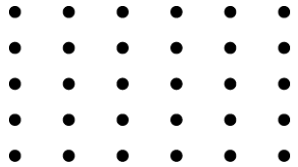


図 1　表面の原子配列.

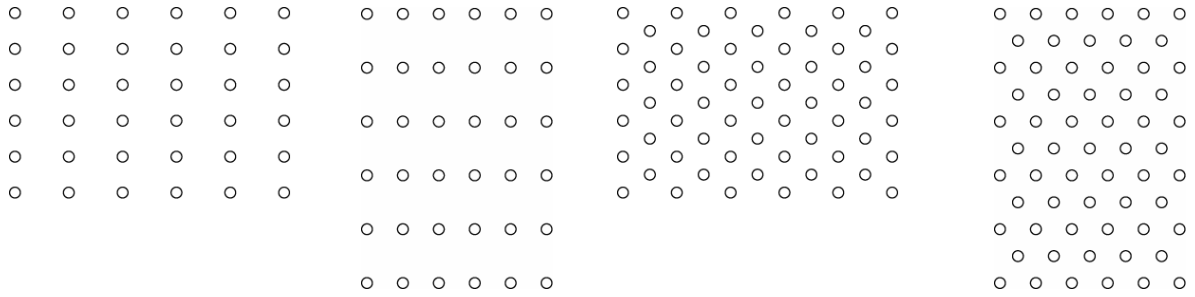


図 2　A　　B　　C　　D

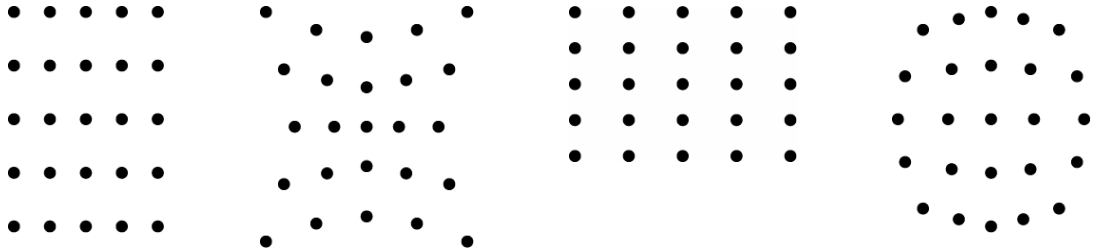


図 3　A　　B　　C　　D

1. (a) 45 度,　(b) 45 度,　(c) D,　(d) D
2. (a) 平行,　(b) 法線,　(c) B,　(d) A
3. (a) 法線,　(b) 平行,　(c) C,　(d) D
4. (a) 平行,　(b) 法線,　(c) A,　(d) C
5. (a) 法線,　(b) 平行,　(c) B,　(d) B

問８６　低速電子回折（LEED）についての次の説明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) 試料表面からの二次電子を検出する．

(b) 試料表面から弾性散乱してきた電子を検出する．通常蛍光スクリーンで検出することが多い．

(c) 数 100 eV 以下のエネルギーの入射電子を用いる．

(d) 入射エネルギーを変えても，スポットの強度は変化しない．

(e) 固体表面の結晶性に関する情報を得ることができる

(f) 試料温度を高くする程，回折スポットの直径が大きくなる．

(g) LEED で用いるエネルギー領域で，電子の固体中での平均自由行程が最も短くなる．

(h) 電子と固体の相互作用が大きいので，多重散乱の効果を取り入れないと，精密な結晶表面の構造解析はできない．

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

問８７　⇒　欠番（削除）

問８８　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．

赤外分光法（フーリエ変換赤外分光法）はラマン分光法と同様に，（　a　）を直接反映する．これらは，（　b　）スペクトル法と呼ばれ，各種材料解析の有効な手段として種々の分野で応用されている．振動には，結合が伸び縮みする（　c　）や結合角が変化する（　d　）があり，原子の変位が対称的な振動を対称振動として，非対称な振動を非対称振動として，それぞれの（　e　）に帰属させる．このほか，結合軸がねじれるひねり振動もある．

1. (a) 分子間結合,　(b) 運動,　(c) 伸縮振動,　(d) 固有振動,　(e) 吸収帯
2. (a) 分子間結合,　(b) 運動,　(c) 伸縮振動,　(d) 固有振動,　(e) 反射モード
3. (a) 原子間結合,　(b) 振動,　(c) 単純振動,　(d) 変角振動,　(e) 反射モード
4. (a) 原子間結合,　(b) 振動,　(c) 伸縮振動,　(d) 変角振動,　(e) 吸収帯
5. (a) 分子間結合,　(b) 振動,　(c) 単純振動,　(d) 固有振動,　(e) 反射モード

問８９　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か．下の 1～5 の番号で答えなさい．

赤外分光法とラマン分光法とでは（　a　）が異なる．非全対称振動や（　b　）の振動は赤外分光法で，全対称振動や（　c　）の振動はラマン分光法で強く観測される．赤外吸収が生じるのは分子振動に伴う双極子モーメントの変化がある場合であり，ラマン散乱は分子振動に伴って（　d　）が変化する場合に生じることに由来する．
また，装置の光学系も異なり，（　e　）は主として可視レーザーを励起光源として用いることから，レーザー光による試料の損傷や蛍光による妨害を受けることがある．

1. (a) 選択則，　(b) 共有結合性，　(c) イオン結合性，　(d) 分極率，　(e) 赤外分光法
2. (a) 選択則，　(b) イオン結合性，(c) 共有結合性，　(d) 分極率，　(e) ラマン分光法
3. (a) 選択則，　(b) イオン結合性，(c) 共有結合性，　(d) 分極率，　(e) 赤外分光法
4. (a) 対称則，　(b) 共有結合性，　(c) イオン結合性，　(d) 散乱角，　(e) ラマン分光法
5. (a) 対称則，　(b) 共有結合性，　(c) イオン結合性，　(d) 散乱角，　(e) 赤外分光法

問９０　赤外分光法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) 全反射吸収スペクトル法は，赤外線がプリズム内を全反射する際にプリズムの外側にわずかにしみだす光を利用する．
(b) 赤外反射法は，金属，半導体などの鏡面上に吸着した化学種の振動のうち，表面に平行な振動成分が赤外光と強く相互作用することを利用する．
(c) 赤外発光分析法は，試料を加熱することにより試料自身から発光する光を検出する．
(d) 赤外拡散反射法は，粉体試料面から特定の立体角に反射される光を利用し，粉体試料や粉体に吸着した物質をそのまま測定する．
(e) 赤外顕微鏡は，対物鏡による試料の結像部にアパーチャーを設置しアパーチャーを絞ることにより測定域を制限する．

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

問９１　赤外分光法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) 試料は気体・液体・固体等のいずれの形態でも測定可能で，適切な測定手法が選択できる．

(b) スペクトルの強度変化だけで，表面化学種の化学構造，配向，分子間相互作用についての情報が得られる．

(c) 高圧力下や溶液中などの in-situ（operando）計測が可能である．

(d) 破壊分析にはなるが，検出感度は表面単分子層ないしそれ以下に達している．

(e) 金属等のように赤外線を透過しない物質およびその上に吸着した試料は，外部反射法で測定できる．

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

問９２　フーリエ変換赤外分光法（FTIR）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) 空気中の窒素による赤外吸収がスペクトル測定の妨害となる．

(b) FTIR の装置は，レーザー，試料室，分光器，高感度光検知器，データ処理系で構成される．

(c) バックグラウンドは，試料を取り除いて測定するが，必要に応じて試料のない鏡面，坦持物質，粉体，プリズム等を用意する．

(d) シングルビーム方式の FTIR では，測定環境の変動を十分に補償できずバックグラウンド信号として現れることがある．

(e) できるだけ試料からの大きな透過吸収が得られるように干渉計からの出力ビームを絞って試料に照射する．

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

問９３　ラマン散乱分光法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) ラマン散乱は，分子振動や素励起による光の弾性散乱である．

(b) 主に可視・紫外領域の単色光を試料に照射し，散乱された光のうち入射光と異なるエネルギーをもつ光（ラマン散乱）を分光する手法がラマン散乱分光法である．

(c) ラマン散乱分光法は分子振動や格子振動を研究するための重要な手法の一つであり，高分解能電子エネルギー損失分光(HREELS)や赤外吸収分光と同じく振動分光に属する．

(d) 表面研究では，とくに吸着分子の組成や深さ方向分布など表面偏析を研究するのに用いられる．

(e) 表面研究におけるラマン散乱の重要な適用例として表面増強ラマン散乱(SERS)がある．

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

問９４　ラマン散乱分光法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) ラマン散乱分光法では光をプローブとするために真空を必ずしも必要としない．

(b) フーリエ変換法を併用すれば，水溶液中の試料についても測定できる．

(c) 光源としてパルスレーザーを用いることによって，比較的簡単に時間分解測定が可能である．

(d) 共鳴ラマンを用いれば，振動準位のみならず電子的な遷移についての情報を得ることができる．このときは光源として波長可変レーザーを用いることが望ましい．

(e) 試料から放出される蛍光が強い場合でもラマン散乱強度も強いため，ラマンスペクトルのピークが埋もれてしまうことはない．

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

問９５　エリプソメトリ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) 試料に楕円偏光ビームを斜入射し，反射の際の楕円偏光状態の変化を計測して試料の光学的性質を推定する．

(b) p-，s-両偏光に対する試料の複素振幅反射係数を r_p，r_s とすると，その差 $r_p - r_s = \tan\Psi \exp(i\Delta)$が楕円偏光状態の変化を一義的に決めるので，Ψ と Δ の組を計測する．

(c) 多層膜試料であれば，r_p，r_sは基板および各層の複素屈折率 $n - ik$（透明体では k=1）と各層の膜厚 d，入射角 θ，波長 λ の関数として与えられる．

(d) 通常のエリプソメトリでは，n，k，d，θ，λ のうち 2 量のみが決定できる．

(e) 複数の入射角での計測や，波長の関数としての計測，すなわち分光エリプソメトリによって n，k，d，θ，λ のうち 3 量以上の同時決定が可能となる．

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

問９６　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．

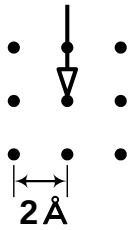
反射電子回折法には数 100 eV 以下の低速電子を用いる（　a　）と 10 keV 程度以上の高速電子を用いる（　b　）がある．（　a　）では主として（　c　）散乱電子に，（　b　）では（　d　）散乱電子に注目する．いずれの手法も試料表面から（　e　）程度までの深さ情報が支配的となる．

1. (a) LEED,　(b) RHEED,　(c) 後方,　(d) 前方,　(e) 1 nm
2. (a) LEED,　(b) MEED,　(c) 後方,　(d) 前方,　(e) 100 nm
3. (a) RHEED,　(b) LEED,　(c) 後方,　(d) 前方,　(e) 1 nm
4. (a) MEED,　(b) RHEED,　(c) 後方,　(d) 前方,　(e) 100 nm
5. (a) LEED,　(b) RHEED,　(c) 前方,　(d) 後方,　(e) 1 nm

問９７　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．

下図のような 2 Å の格子点間隔を有する 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反射高速電子回折（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 2x2 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低速電子回折（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) 0.1,　(b) 5,　(c) 9,　(d) 1.0,　(e) 30°
2. (a) 0.2,　(b) 5,　(c) 7,　(d) 0.5,　(e) 45°
3. (a) 0.1,　(b) 5,　(c) 9,　(d) 1.0,　(e) 45°
4. (a) 0.2,　(b) 3,　(c) 7,　(d) 0.5,　(e) 60°
5. (a) 1.0,　(b) 3,　(c) 5,　(d) 0.1,　(e) 60°



問９８　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うになる．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) 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
2. (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
3. (a) ラマン散乱，(b) 赤外吸収，　(c) 透磁率，　(d) 反転，　(e) 群論
4. (a) 赤外吸収，　(b) ラマン散乱，(c) 分極率，　(d) 回転，　(e) 相対論
5. (a) 赤外吸収，　(b) ラマン散乱，(c) 分極率，　(d) 反転，　(e) 群論

問９９　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　）共鳴の利用や，（　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１００　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．

表面における赤外領域の吸収を高感度に測定するためには，感度よく測定できる配置を選ぶ必要がある．金属表面の（　a　）を用いる高感度反射法では，金属の屈折率と表面膜の屈折率を考慮して高感度な角度を選択する．この時反射率は偏光方向によって大きく変化し，表面の法線ベクトルと入射ベクトルのなす平面に対して偏光方向が（　b　）な（　c　）偏光で励起すると感度が良く，それに垂直な偏光では表面はほとんど観測されない．この差を利用して両偏光の反射率の差から表面の寄与を見積もることができる．一方で，全反射分光法では誘電体，真空境界の全反射を利用している．（　d　）の多重反射を利用して強度を稼ぐこともでき，赤外領域で透明な（　e　）などが良く用いられる．

1. (a) 外部反射, (b) 平行, (c) p, (d) プリズム, (e) Si
2. (a) 内部反射, (b) 平行, (c) s, (d) プリズム, (e) グラファイト
3. (a) 内部反射, (b) 垂直, (c) p, (d) プリズム, (e) SiO_2
4. (a) 外部反射, (b) 垂直, (c) s, (d) ミラー対, (e) Si
5. (a) 弾性散乱, (b) 平行, (c) p, (d) ミラー対, (e) Ag

問１０１　フーリエ変換赤外分光法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．

マイケルソン干渉計を用いて，全光の強度の干渉を測定し，二つの光路の光路差をスキャンすることで（　a　）を得，それを（　b　）することによりスペクトルを得る手法は市販の赤外分光計で良く用いられる．この手法はスキャンする（　c　）取れば高分解能でスペクトルを検出することができ，また，高次の回折効果を考える必要がないので，（　d　）スペクトルの測定を行う際に有利である．また，同様の手法を（　e　）に応用することも可能である．

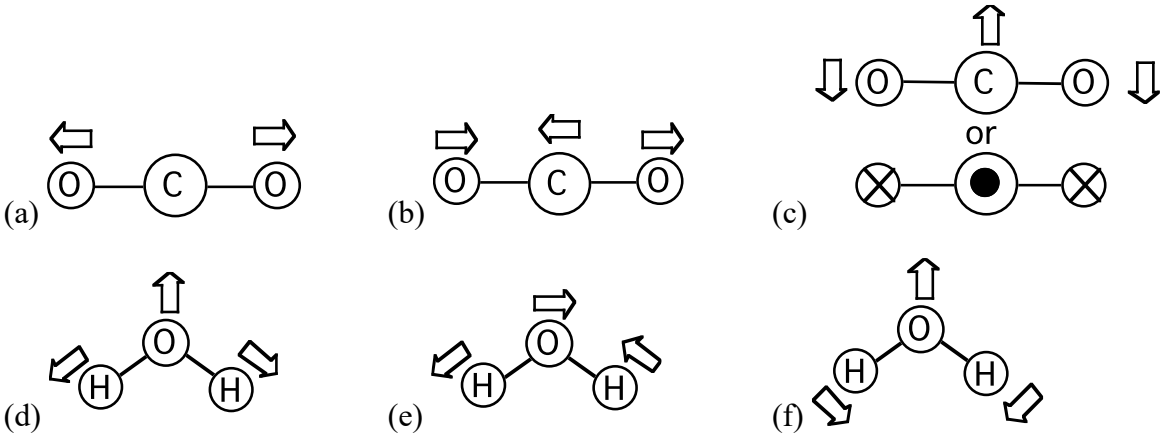
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	インターフェログラム,	フーリエ変換,	距離を長く,	広帯域,	ラマン散乱
2.	電場波形,	フーリエ変換,	間隔を細かく,	低周波数,	光電子分光
3.	インターフェログラム,	ラプラス変換,	間隔を細かく,	広帯域,	ラマン散乱
4.	電場波形,	ルジャンドル変換,	距離を長く,	低周波数,	光電子分光
5.	インターフェログラム,	フーリエ変換,	間隔を細かく,	広帯域,	ラマン散乱

問１０２　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．

ラマン散乱はフォノンによるレーザー光の散乱を測定するものであり，レーザーと同じ周波数を持った（　a　）散乱光からフォノンの周波数分だけずれた波長の光を検出する．励起レーザーは（　b　）や（　c　），分光器などを用いてカットされ，周波数シフトした光だけが検出される．元のレーザーよりも（　d　）周波数の散乱光をアンチストークス光，（　e　）周波数の散乱光をストークス光という．また，アンチストークス光とストークス光の強度比から系の温度を見積もることができる．

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	レイリー,	スーパーノッチフィルター,	エッジフィルター,	高い,	低い
2.	レイリー,	スーパーノッチフィルター,	バンドパスフィルター,	高い,	低い
3.	レイリー,	バンドパスフィルター,	偏光フィルター,	低い,	高い
4.	ブリルアン,	バンドパスフィルター,	エッジフィルター,	低い,	高い
5.	ブリルアン,	コールドフィルター,	偏光フィルター,	高い,	低い

問１０３　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) (f),　2. (c) (d) (f),　3. (a) (d) (f),　4. (b) (c) (d) (e) (f),　5. (a) (b) (c) (d) (e) (f)

問１０４　表面振動分光法に関する (a)～(f) 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) 表面では垂直方向に対して反転対称性が破れるので，通常は赤外不活性なモードでも赤外吸収を用いて観測できる場合がある．

(b) 高感度反射法では，赤外光の入射角度が 0 度（垂直入射）に近いほど表面に敏感な検出が可能となる．

(c) 表面増強ラマン散乱では，金属微粒子間の非常に大きな電場を利用するので，高感度であり，単一分子の振動分光も可能であるとされている．

(d) ラマン散乱では非常に強いレーザー光を試料に照射し，周波数シフトした光を検出するが，通常は強度がより強くかつ高エネルギー側に現れるラマン散乱光を検出する．

(e) ラマン散乱では，レーザー光のエネルギーが分子の電子励起のエネルギーに近いと散乱断面積が小さくなる．

(f) 全反射分光法では，プリズムの屈折率が大きいほど全反射界面におけるしみだし長は小さくなり表面敏感となる．

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

問１０５　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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) 微量水素の検出が可能である．

(b) 固体無機物分析に多く利用されている．

(c) X 線検出感度は入射電子エネルギーに比例する．

(d) 電子線の照射により励起された特性 X 線を利用して組成分析ができる．

(e) 電子線走査や試料駆動しながら特性 X 線検出することにより元素分布を表示できる．

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

問１０６　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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．

EPMA の特性 X 線検出には一般的に（　a　）分光器が使用されており，走査電子顕微鏡（SEM）にエネルギー分散型X線分光器（EDS）を搭載した装置と比較して大型の分析装置である．この分光器では（　b　）により特性X線がブラッグ反射され検出器で計測される．検出器はガス比例計数管が使用されているが X 線が入射する検出器窓にはベリリウム膜と軽元素用に（　c　）膜が使用されている．EPMA 機能の特長のひとつは（　d　）が搭載されていることである．これにより物質表面の変色等の分析が可能である．一般的に EPMA の試料室は真空に保たれており，真空排気にはターボ分子ポンプや（　e　）ポンプが使用されている．

1. (a) エネルギー分散型, (b) 回折格子, (c) セラミックス,(d) 走査トンネル顕微鏡, (e) 拡散
2. (a) 波長分散型, (b) 分光結晶, (c) 高分子, (d) 光学顕微鏡, (e) ロータリー
3. (a) エネルギー分散型, (b) 回折格子, (c) 高分子, (d) 走査トンネル顕微鏡, (e) 拡散
4. (a) 波長分散型, (b) 分光結晶, (c) 高分子, (d) 光学顕微鏡, (e) 拡散
5. (a) 波長分散型, (b) 分光結晶, (c) セラミックス,(d) 光学顕微鏡, (e) ロータリー

問１０７　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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) EPMA による半定量分析には標準試料が必要である．
(b) EPMA では入射電子エネルギーによって分析領域が変わる．
(c) EPMA では分析試料が電子ビームによる熱ダメージを受けることがある．
(d) EPMA では特定元素において微小部状態分析が可能である．
(e) EPMA による微量炭素の定量分析には原子番号，吸収，蛍光励起の補正（ZAF 定量補正法）が適している．

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

問１０８　走査電子顕微鏡（SEM）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) SEM に利用される反射電子は主に弾性散乱電子と非弾性散乱電子に分類できる．
(b) SEM に利用される二次電子とは一般的に 50 eV 以下の低いエネルギーの電子を指す．
(c) SEM に利用される電子として主に二次電子と反射電子があるが，二次電子は反射電子に比べて物質の組成情報を多く有している．
(d) SEM に利用される加速電圧は一般的に数 100 V から数 100 kV である．
(e) SEM に利用される一次電子とは電子源より発射された電子ビームを指す．

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

問１０９　走査電子顕微鏡(SEM)に関する次の文章中の (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．

SEM の電子源は主に電界放出型，（　a　）型の２種類に分類される．この中で輝度が高い電子源は（　b　）型である．（　b　）型電子源はサーマルタイプと（　c　）タイプに分類され，近年のサーマルタイプではタングステンティップに酸化ジルコニウムを被覆させた（　d　）タイプが主流となっている．

1. (a) 熱電子放出,　(b) 電界放出,　(c) コールド,　(d) LaB_6
2. (a) 熱電子放出,　(b) 電界放出,　(c) ショットキー,　(d) コールド
3. (a) 熱電子放出,　(b) 電界放出,　(c) コールド,　(d) ショットキー
4. (a) ショットキー,　(b) 熱電子放出,　(c) コールド,　(d) LaB_6
5. (a) ショットキー,　(b) 電界放出,　(c) コールド,　(d) 熱電子放出

問１１０　エネルギー分散型 X 線分光器（EDS）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) EDS は主に半導体検出器を利用したものである．

(b) 波長分散型 X 線分光器（WDS）に比較してエネルギー分解能が高い．

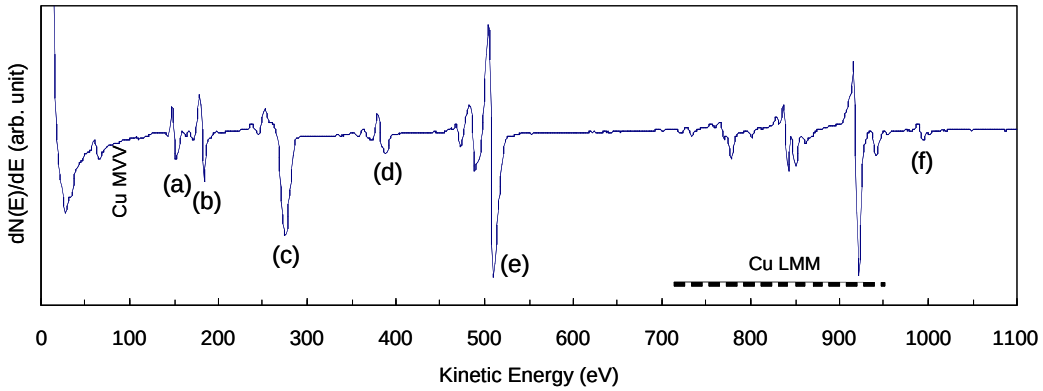
(c) シリコンリチウム検出器は冷却不要である．

(d) シリコンドリフト検出器（SDD）はシリコンリチウム検出器に比べて高計数率が特長である．

(e) EDS は WDS に比較して多数の元素が同時分析できる点が特長である．

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

問１１１　大気から導入直後の銅試料の典型的なオージェスペクトルを下図に示す．銅以外の表面汚染によるピークが観測されている．(a)～(f) で示したオージェピークの適切な組合せはどれか．下の 1~5 の番号で答えなさい．



1. (a) Na KLL,　(b) Cl LVV,　(c) C KLL,　(d) N LVV,　(e) O KLL,　(f) S LVV
2. (a) C KLL,　(b) O KLL,　(c) S LVV,　(d) Cl LVV,　(e) Na KLL,　(f) N KLL
3. (a) C KLL,　(b) N KLL,　(c) O KLL,　(d) Na KLL,　(e) S LVV,　(f) Cl LVV
4. (a) S LVV,　(b) Cl LVV,　(c) O KLL,　(d) N KLL,　(e) C KLL,　(f) Na KLL
5. (a) S LVV,　(b) Cl LVV,　(c) C KLL,　(d) N KLL,　(e) O KLL,　(f) Na KLL

問１１２　オージェ電子分光法による深さ方向分析について次の文章中の (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．

深さ方向分析を行う時に高い深さ分解能を得るためには，（　a　）の加速電圧を 1 kV 以下にする，試料を（　b　）する，（　c　）の小さい（　d　）のオージェピークを用いて測定する等の工夫が必要である．

1. (a) イオンビーム，(b) 冷却，　(c) 非弾性平均自由行程，(d) 高エネルギー
2. (a) 電子ビーム，　(b) 回転，　(c) 相対感度係数，　(d) 高エネルギー
3. (a) イオンビーム，(b) 回転，　(c) 非弾性平均自由行程，(d) 低エネルギー
4. (a) イオンビーム，(b) 回転，　(c) 非弾性平均自由行程，(d) 高エネルギー
5. (a) 電子ビーム，　(b) 冷却，　(c) 相対感度係数，　(d) 低エネルギー

問１１３　深さ方向分析について次の文章中の (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．

通常のイオンスパッタリングを用いる深さ方向分析のほかに，機械的に（　a　）を行う方法，スパッタクレータの（　b　）を用いる深さ方向分析の方法等が挙げられる．いずれの場合も，多層薄膜試料等の断面を（　c　）して露出させ，（　d　）を行い深さ方向の元素組成分布を求める方法である．

1. (a) 断面研磨，　(b) 底面，　(c) 拡大，　(d) 線分析
2. (a) 斜め研磨，　(b) エッジ，　(c) 縮小，　(d) 面分析
3. (a) 断面研磨，　(b) エッジ，　(c) 拡大，　(d) 面分析
4. (a) 断面研磨，　(b) 底面，　(c) 鏡面加工，(d) 点分析
5. (a) 斜め研磨，　(b) エッジ，　(c) 拡大，　(d) 線分析

問１１４　厚みが 50 nm の SiO_2 となっているはずの薄膜を含む多層膜を，オージェ電子分光分析によって，Ar エッチングしながらの深さ方向分析を行った．このとき SiO_2 層の組成が Si : O=1 : 1 となった．(a)～(e) に示す原因と対策の中から適切と考えられる組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 薄膜の作成条件が不適切だった可能性がある．薄膜の作成条件と再現性についての確認を行う．

(b) 入射電子ビームの加速電圧が 15 kV と高すぎたために，試料損傷が激しかった可能性がある．3 kV 程度に加速電圧を下げて測定を行ってみる．

(c) 入射電子の電流密度が高過ぎたために測定中に解離を起こしていた可能性がある．電流を減らし，さらにビームを例えば 50 μm 角に走査しながら測定を行ってみる．

(d) Ar イオンビームの加速電圧が 4 kV と高すぎたために，試料損傷が激しかった可能性がある．1 kV 程度に加速電圧を下げて測定を行ってみる．

(e) 装置の感度係数が正しくない可能性がある．100 nm 程度の厚さを持つ熱酸化膜を参照試料として測定し，感度係数を求め直してみる．

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

問１１５　高倍率での走査オージェ電子分光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．

一般に，オージェ電子分光法は励起に電子ビームを利用するため，真の二次電子や（　a　）電子による高いバックグラウンドの上に，強度の小さいオージェピークが観測される．そのため，スペクトルは（　b　）モードで表示するのが一般的である．一方，面分析では各点でスペクトル測定を行うと，測定時間が著しく長くなるので，ピークエネルギーの信号強度（S）と適当なバックグラウンドのエネルギーでの信号強度（B）の差を測定する．したがって，通常の装置では（　b　）モードが適用できない．また，高倍率での面分析では，電子ビームを細く絞るために電流を（　c　）する必要があり，さらに信号強度が小さくなる．これらのことから，（　d　）比を向上させるために，測定時間が長くなる．このため，高倍率で長時間測定する際は，測定位置の（　e　）に十分注意する必要がある．

1. (a) 弾性散乱,　(b) 微分,　(c) 大きく,　(d) S/B,　(e) 設定精度
2. (a) 弾性散乱,　(b) 積分,　(c) 小さく,　(d) S/B,　(e) 設定精度
3. (a) 非弾性散乱,　(b) 微分,　(c) 大きく,　(d) S/N,　(e) 時間変化
4. (a) 非弾性散乱,　(b) 微分,　(c) 小さく,　(d) S/N,　(e) 時間変化
5. (a) 非弾性散乱,　(b) 積分,　(c) 小さく,　(d) S/N,　(e) 時間変化

問１１６　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．

走査トンネル顕微鏡（STM）は，先端の鋭い探針と試料の間に流れるトンネル電流が，探針・試料間の距離 r を変えたとき，r に対して（　a　）で変化することを利用して，原子レベルの高い空間分解能を得ている．探針・試料間にかけるバイアス電圧を変化させて，電流－電圧曲線（I-V 曲線）を測定することで，試料の局所的な（　b　）を調べることができる．また，（　c　）の過程を用いれば，例えば，探針・試料間に置いた分子の振動モードが計測される．トンネル電流の大きさは，トンネル障壁の高さと幅（探針・試料間の距離）によるので，トンネル電流の距離依存性を調べることで，局所的な（　d　）に関する情報を得ること可能である．大気中で用いる探針は，PtIr など（　e　）金属を用いる．真空中で用いる探針は，通常，W のワイヤを KOH 等の水溶液中で電解研磨して作製する．

1. (a) 1/r,　(b) 凹凸,　(c) 弾性トンネル,　(d) 仕事関数,　(e) 酸化しやすい
2. (a) 指数関数,　(b) 凹凸,　(c) 非弾性トンネル,　(d) 状態密度,　(e) 酸化しにくい
3. (a) 1/r,　(b) 仕事関数,　(c) 非弾性トンネル,　(d) 状態密度,　(e) 酸化しにくい
4. (a) 指数関数,　(b) 状態密度,　(c) 非弾性トンネル,　(d) 仕事関数,　(e) 酸化しにくい
5. (a) 指数関数,　(b) 状態密度,　(c) 弾性トンネル,　(d) 仕事関数,　(e) 酸化しやすい

問１１７　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．

実験室系の X 線回折測定では一般に，銅の（　a　）を入射 X 線として利用する．この（　a　）は主に $CuK\alpha_1$ 線と $CuK\alpha_2$ 線からなり，個々の（　a　）の強度で加重平均された $CuK\bar{\alpha}$ 線とも呼ばれる．$CuK\bar{\alpha}$ 線の波長は（　b　）Å である．高分解能測定においては，完全結晶の回折現象を利用したモノクロメータ・コリメータ（単にモノクロメータとも呼ばれる）結晶素子により，（　c　）と（　d　）された X 線を利用する．この場合には $CuK\alpha_1$ 線のみが取り出され，その波長は（　e　）Å である．

1. (a) 特性 X 線,　(b) 1.54059,　(c) 単色化,　(d) 平行化,　(e) 1.5444
2. (a) 特性 X 線,　(b) 1.5444,　(c) 単色化,　(d) 平行化,　(e) 1.54059
3. (a) 白色 X 線,　(b) 1.5444,　(c) 白色化,　(d) 量子化,　(e) 1.54059
4. (a) 白色 X 線,　(b) 1.56059,　(c) 規格化,　(d) 量子化,　(e) 1.54059
5. (a) 特性 X 線,　(b) 0.7107,　(c) 白色化,　(d) 平衡化,　(e) 0.7102

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．

エピタキシャル成長した薄膜の結晶性を表現するパラメータとして，その（　a　）度合いを示すモザイク性がひとつの指標として用いられる．このモザイク性は積層方向の（　a　）を表す（　b　）成分と，表面面内での（　a　）を表すツイスト成分とで表現される．特に成長初期のごく薄い膜の時，エピタキシャル薄膜は基板に拘束され（　c　）を起こすことがある．このとき，エピタキシャル薄膜では格子変形のため，積層方向と面内方向とで格子定数が異なることになる．それぞれの方向の格子定数を独立に求めるため，（　d　）測定や In-Plane 測定といった測定技法が用いられる．AlAs-GaAs 系のように，結晶構造の変化を伴わずに連続的に組成が変わり，格子定数が変化する成分系を固溶体（または混晶）と呼ぶ．組成の変化と格子定数の変化が線形的な関係にあるとして考えるのが（　e　）であるが，このように格子変形による格子定数の変化の影響を考慮しないと組成評価を正しく行うことができない．

1. (a) 方位バラつき，(b) チルト，(c) 弾性変形，(d) 逆格子マップ，(e) ベガード則
2. (a) 方位バラつき，(b) チルト，(c) 平行移動，(d) 小角散乱，(e) フリーデル則
3. (a) 結晶の大きさ，(b) フラクタル，(c) 剥離，(d) 反射率，(e) フント則
4. (a) 方位バラつき，(b) オフセット，(c) 弾性変形，(d) 小角散乱，(e) フリーデル則
5. (a) 結晶の大きさ，(b) フラクタル，(c) 平行移動，(d) 逆格子マップ，(e) ベガード則

問１１９　スタティック二次イオン質量分析法（static-SIMS）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) static-SIMS は，マトリックス支援レーザー脱離イオン化法（MALDI）よりもフラグメンテーションが激しく生じるが，空間分解能に優れる．

(b) static-SIMS は飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）でのみ測定できる．

(c) static-SIMS では，一次イオンパルスが試料を衝撃すると，一次イオンは表面から数原子層までしか侵入しないため，表面数原子層もしくは数分子層からの信号が主である．

(d) static-SIMS では，ダイナミック二次イオン質量分析法（dynamic-SIMS）のような一次イオンによる化学的増感効果は得られにくい．

(e) static-SIMS は，dynamic-SIMS よりも試料の照射損傷が少なく，分子イオンや大きなフラグメントが検出可能だが，これは static-SIMS の一次イオンのエネルギーが低いためである．

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

問１２０　次の(1)から(6)の飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）についての記述を完成す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．

(1) TOF-SIMS において，（a. 一次イオンのパルス幅， b. 加速電圧，c. 一次イオンの種類）は質量分解能に影響する．

(2) 一次イオンパルスが試料を衝撃した際に発生する二次イオンは，（a. 質量，b. エネルギー分布，c. 電荷）を有し，質量分解能の劣化の原因となる．

(3) TOF-SIMS のイメージング方式は，（a. 走査型，b. 投影型）と（a. 走査型，b. 投影型）があるが，現在主流となっているのは前者である．

(4) TOF-SIMS で絶縁物試料を測定する場合，帯電が問題となるが，正イオン検出時は（a. 正，b. 負），負イオン検出時は（a. 正，b. 負）に帯電する．

(5) TOF-SIMS では，単原子イオンと分子イオンで（a. エネルギー分布，b. 電荷，c. 角度分布）が異なるため，マスキャリブレーションは検出目的のイオン種を考慮して行った方が良い．

(6) TOF 型質量分析計は（a. 収差補正能，b. 分解能，c. 透過率）が高いため，発生した二次イオンを有効に検出でき，スタティック SIMS に非常に適した質量分析計である．

1. (1) b,　(2) b,　(3) b-a,　(4) b-a,　(5) a,　(6) a
2. (1) a,　(2) a,　(3) a-b,　(4) a-a,　(5) c,　(6) b
3. (1) c,　(2) a,　(3) a-b,　(4) b-a,　(5) b,　(6) a
4. (1) a,　(2) b,　(3) a-b,　(4) a-a,　(5) a,　(6) c
5. (1) a,　(2) c,　(3) b-a,　(4) a-b,　(5) c,　(6) c

問１２１　飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）のスタティック限界（static limit）に関する以下の説明文で，(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．

TOF-SIMS で一次イオン 1 個を表面に衝撃した際，衝撃点を中心に損傷が広がるが，この損傷領域の大きさを（　a　）と呼ぶ．イオンを多数照射すると，損傷領域は増加するが，損傷領域の面積割合が 1%程度になるドーズ量を static limit と呼び，一般に約（　b　）ions/cm^2 である．例えば，10 μm × 10 μm の領域を，1.6 nA（at DC mode）の一次イオンビームで，パルス幅 10 ns，パルスレート 10 kHz で測定した場合，約（　c　）秒で static limit に達する．ただし，電子の素電荷を 1.6×10^{-19} C とする．

1. (a) イオン化断面積,　(b) 10^9～10^{10},　(c) 60 ～ 600
2. (a) イオン化断面積,　(b) 10^{12}～10^{13},　(c) 1 ～ 10
3. (a) 損傷断面積,　(b) 10^{12}～10^{13},　(c) 300 ～ 3000
4. (a) 損傷断面積,　(b) 10^{12}～10^{13},　(c) 1 ～ 10
5. (a) 散乱断面積,　(b) 10^9～10^{10},　(c) 60 ～ 600

問１２２　飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）におけるクラスターイオンの効果として，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．ただし，クラスターイオンは，巨大アルゴンクラスターイオンを除くとする．

(a) クラスターイオンは，多くの原子で一度に衝撃するため，帯電が激しい．

(b) クラスターイオンで損傷を低減できる理由の 1 つは，クラスターの 1 原子あたりのエネルギーが低いためである．

(c) クラスターイオンを用いると，二次イオン収率が向上するが，これはスパッタ収率の向上よりは，二次イオン化率向上の効果が大きいためである．

(d) クラスターイオンは，電子衝撃型のイオン源を用いるため，ビームの細束化が難しいのが短所である．

(e) クラスターイオンは，単原子イオンに比較して損傷が少なく，スパッタレートも著しく低下する．

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

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．

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

問１２４　X線を用いて表面･界面を評価する有効な手法としてX線反射率法（XRR）がある．この手法は，表面に極浅い角度で X 線を入射し，表面・界面で散乱された X 線の強度を観測する．次の記述 (a)～(e) のうち，XRR の特徴説明とし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) 非破壊で多層膜の評価ができる．

(b) 数 nm～1 μm 程度の膜の厚さを評価できる.

(c) 多層膜の各層の組成が既知であれば, 密度を評価できる.

(d) 表面および界面の粗さ(ラフネス)を評価できる.

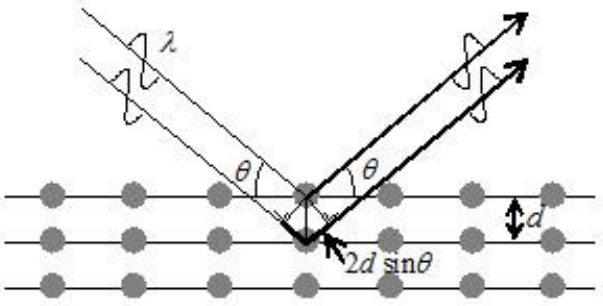
(e) ガラスのような非晶質の材料や可視光に不透明な金属などの膜にも適用できる.

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

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．

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

問１２６　平坦な Si ウェハ上に，屈折率約 2.0，膜厚 75 nm の窒化シリコン（SiN_x）膜を堆積すると，青色に見える．この理由を 1～5 の番号で答えなさい．

1. SiN_x 膜表面での反射光と Si/SiN_x 界面での反射光の干渉により，青色以外の反射光が弱くなったため．
2. SiN_x 膜表面での反射光と Si/SiN_x 界面での反射光の干渉により，青色の反射光が打ち消されたため．
3. SiN_x 膜が青色以外の光を選択的に吸収するため．
4. SiN_x 膜が青色の光を選択的に吸収するため．
5. 目の錯覚．

問１２７　平坦な Si ウェハ上に，屈折率約 2.0，膜厚 75 nm の窒化シリコン(SiN_x)膜を堆積すると，青色に見える．SiN_x の膜厚が増加すると，表面色はどうなるか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 徐々に黒色に変化する
2. 薄い青 → 濃い青 → 紫に変化する
3. 緑 → 黄 → 赤と変化する
4. 紫色 → 緑 → 白に変化する
5. 変化しない

問１２８　平坦な石英ガラス基板上に，非晶質シリコン（a-Si）を 100 nm 堆積し，白い紙の上に置くと，薄い赤色に見える．この理由を 1～5 の番号で答えなさい．

1. a-Si 膜が赤色の光を選択的に吸収するため．
2. a-Si 膜が赤色以外の光を選択的に吸収するため．
3. a-Si 膜表面での反射光と a-Si/ガラス界面での反射光の干渉により，赤色の光が打ち消されたため．
4. a-Si 膜表面での反射光と a-Si/ガラス界面での反射光の干渉により，赤色以外の光が打ち消されたため．
5. 目の錯覚．

問１２９　平坦な石英ガラス基板上に，非晶質 Si (a-Si)を 100 nm 堆積し，白い紙の上に置くと，薄い赤色に見える．a-Si の膜厚が増加すると，何色に見えるか．1〜5 の番号で答えなさい．

1. 変化しない．
2. より薄い赤色に変化する．
3. 濃い赤色から黒色に変化する．
4. 薄い青色から濃い青色に変化する．
5. 黄色から緑色に変化する．

問１３０　非晶質シリコン（a-Si）太陽電池の光吸収層に使用されているノンドープ a-Si 膜の膜厚は，おおよそどの程度か．1〜5 の番号で答えなさい．

1. 3 nm,　2. 30 nm,　3. 300 nm,　4. 3 μm,　5. 30 μm

問１３１　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．

コーティング方法は大きく（　a　）式法と（　b　）式法に分けられる．（　a　）式法の代表としては（　c　）法がある．この方法は水溶液中でコーティングを行うため，複雑な形状や大面積への対応が可能であるが，薬品や廃液の管理には十分な対応が必要となる．（　b　）式法の代表である（　d　）法や（　e　）法は通常は真空チャンバーを必要とし，膜質や膜厚などの高度な制御が可能である．（　e　）法では，反応性のガスを利用するため，その扱いや排気ガスの処理に注意を払う必要がある．

1. (a) 乾，(b) 湿，(c) PVD,　(d) CVD,　(e) 電気化学めっき
2. (a) 乾，(b) 湿，(c) CVD,　(d) PVD,　(e) 電気化学めっき
3. (a) 乾，(b) 湿，(c) 電気化学めっき，(d) PVD,　(e) CVD
4. (a) 湿，(b) 乾，(c) 電気化学めっき，(d) PVD,　(e) CVD
5. (a) 湿，(b) 乾，(c) PVD,　(d) 電気化学めっき，(e) CVD

問１３２　表面の機械的物性について，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) モース硬度は鉱物の硬さについて，標準物質を設定して１～１０までの尺度で表わしたものである．この中で石英は硬度１０のダイヤモンドに次ぐ，硬度９の硬い標準物質とされている．

(b) 表面の硬さには，押し込み硬さ試験法だけでもビッカース硬さ，ブリネル硬さ，ヌープ硬さなど様々な測定方法がある．これらの硬さ値には互換性があり，例えばビッカース硬さをヌープ硬さに換算することができる．

(c) ヤング率とは縦弾性係数のことで，その単位は N/m である．

(d) 薄膜の硬さ試験にはナノインデンテーション法が用いられる．この場合，硬さの単位は Pa である．

(e) スクラッチ試験を用いた薄膜の密着性評価法では，直接，薄膜のせん断破壊応力を測定することは困難である．

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

問１３３　物質の「硬さ」に深く関与する適切な因子の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

1. 降伏強度，	靭性，	延性，	引っ掻き抵抗，	耐摩耗性，	熱膨張率
2. 延性，	引っ掻き抵抗，	耐摩耗性，	熱膨張率，	比熱，	降伏強度
3. 引張強度，	降伏強度，	靭性，	延性，	引っ掻き抵抗，	耐摩耗性
4. 耐摩耗性，	熱膨張率，	引張強度，	降伏強度，	靭性，	熱伝導率
5. 靭性，	延性，	引っ掻き抵抗，	耐摩耗性，	電気伝導率，	引張強度

問１３４　ナノインデンテーション法の特徴に関する記述で，誤っているもの１つを 1～5 の番号で答えなさい．

1. 試料表面に形成される圧痕（くぼみ）の大きさは，圧子の侵入深さから算出する．
2. 荷重－変位の関係が，試験の全過程にわたって記録される．
3. １回の測定で，塑性硬さのみならずヤング率の測定も可能である．
4. 同一荷重条件では，最大押し込み深さが深いほど硬さは低い（軟らかい）．
5. 走査プローブ顕微鏡との組合せで，測定の位置決めを行うことができる．

問１３５　ナノインデンテーション法において，測定結果に与える不確定要素または誤差因子として不適当なものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 温度ドリフト
2. ロードフレームの変形
3. 硬さの押込荷重依存性
4. 圧子の先端形状
5. 金属，セラミックス，ポリマーなどの材料の違い

問１３６　薄膜の機械的特性評価に関する適切な記述はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 塑性硬さを測定する場合，基板の影響を受けないための条件として，押込深さは膜厚の 1/3 以下を目安とする．
2. 膜／基板界面の付着性が弱い場合は，付着性が強い場合に比べて硬さは高い（硬い）値を示す傾向にある．
3. 基板が薄膜よりもある程度硬い場合は，基板の影響は無視できる．
4. 複合則モデルが適用できるのは，基板が薄膜よりも硬い場合に限定される．
5. 膜厚方向の硬さ分布を評価する場合は，断面試料の測定がより有効である．

問１３７　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．

オージェ電子分光（AES）分析装置としては汎用的に（　a　）が励起源として用いられている．（　a　）は集束させやすいために（　b　）に適するという長所がある．（　a　）が表面に照射されることによって内殻準位の電子が放出され空孔が生じる．その上の準位の電子がその空孔を埋めてエネルギー的に安定化する．その際の余剰エネルギーの放出過程には二通りある．一つはエネルギー差に対応する（　c　）を放出する過程であり，もう一つは電子を放出する過程で，下の空準位を埋めるために同一準位の電子が原子外に放出される過程である．前者の場合，（　c　）は特性X線であり，（　d　）として応用されている．後者はオージェ過程と呼ばれ，AES 分析として利用されている．また，最初に電子の空孔が形成される電子準位が K 殻，空孔を埋めるために遷移する電子の始準位が L 殻，放出されるオージェ電子の準位が L 殻の場合の遷移過程を（　e　）遷移と呼ぶ．

1. (a) 電子線，　(b) 微小部分析，(c) 光子，　(d) EPMA，　(e) KLL
2. (a) 電子線，　(b) 状態分析，　(c) イオン，(d) SEM，　(e) KLL
3. (a) X 線，　(b) 状態分析，　(c) 光子，　(d) EPMA，　(e) LKK
4. (a) X 線，　(b) 状態分析，　(c) 光子，　(d) XPS，　(e) LKK
5. (a) イオンビーム，(b) 微小部分析，(c) イオン，(d) EELS，　(e) KLL

問１３８　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な数値の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．なお，数値は適宜四捨五入で丸められたものとする．

元素 A，B，C の三元系からなる参照試料がある．組成は A：30 at%，B：50 at%，C：20 at% である．この試料のオージェスペクトルの強度は A，B，C，各々，50，125，20（任意単位）であった．このときの相対感度係数（RSF）は，バルクと表面で同一組成と仮定すると，A : B : C = 1 : (a) : (b) となる．次に組成が未知である三元系材料 $A_xB_yC_z$ を参照試料と同一条件で測定したところ，A，B，C，各々の強度は 34，114，24（任意単位）であった．この未知試料の組成は，A：(c) at%，B：(d) at%，C：(e) at%となる

1. (a) 1.5,　(b) 0.6 ,　(c) 23,　(d) 50,　(e) 27
2. (a) 1.5,　(b) 0.6,　(c) 28,　(d) 40,　(e) 32
3. (a) 1.0 ,　(b) 0.4,　(c) 16,　(d) 55,　(e) 29
4. (a) 0.5,　(b) 0.2,　(c) 9,　(d) 60,　(e) 31
5. (a) 2.0,　(b) 0.8,　(c) 28,　(d) 47,　(e) 25

問１３９　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．

オージェ電子分光法（AES）や X 線光電子分光法（XPS）では，イオンスパッタリングを用いて表面領域を除去しながら分析することで，組成の（　a　）分析を行うことができる．スパッタリングのガス種としては，一般的には（　b　）が用いられる．（　a　）分析を行う際に，イオンビームをラスター走査して，分析領域より十分広い領域を均一にスパッタリングして，スパッタクレーターの（　c　）で分析することが重要である．多層構造の界面付近の分析をする際には，界面幅ができるだけ狭くなる（界面分解能が高くなる）条件でスパッタリングしなければならない．また，薄膜に関しては，一般的にはできるだけスパッタリング速度を小さくすることが望ましい．界面分解能を高くするために注意しなければいけない現象として，表面粗れ（荒れ），（　d　），（　e　）などがあげられる．

1. (a) 化学状態，(b) 酸素，(c) 中心領域，(d) 表面偏析，(e) 再堆積
2. (a) 深さ方向，(b) アルゴン，(c) 端の領域，(d) 選択スパッタリング，(e) ミキシング
3. (a) 定量，(b) 窒素，(c) 内側，(d) 表面偏析，(e) 選択スパッタリング
4. (a) 深さ方向，(b) アルゴン，(c) 中心領域，(d) ミキシング，(e) 選択スパッタリング
5. (a) 面，(b) ヘリウム，(c) 外側，(d) ミキシング，(e) 再堆積

問１４０　X 線光電子分光法で，プローブと信号の適切な組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

1. シンクロトロン放射光，X 線
2. X 線，電子
3. 電子，X 線
4. 電子，電子
5. X 線，X 線

問１４１　炭素の 1s 軌道の結合エネルギーは約 290 eV である．Al Kα 線（1487 eV）で炭素 1s の X 線光電子スペクトルを測定するとき，光電子の運動エネルギーはおよそ何 eV か．次の 1～5 から選びなさい．ただし仕事関数は無視する．

1. 290 eV，　2. 964 eV，　3. 1197 eV，　4. 1544 eV，　5. 1777 eV

問１４２　X 線光電子分光法が，表面敏感な理由として適切な記述はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 入射 X 線の侵入深さが浅く固体の奥まで届かないため．
2. 光電子の非弾性平均自由行程が短いため．
3. ケミカルシフトがあるため．
4. 超高真空で測定するため．
5. 絶縁体は帯電するため．

問１４３　X 線光電子分光法（XPS）で観測されるオージェピークについて適切な記述はどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

XPS で測定される酸素の 1s 軌道の結合エネルギーは約 530 eV である．酸素 $KL_{23}L_{23}$ オージェ電子の運動エネルギーはおよそ何 eV か．ここで L_{23} は酸素 2p 軌道を表し，その結合エネルギーを概略 10 eV とする．また Mg-Kα線（1254 eV）で測定するとき，見かけ上，このオージェスペクトルは結合エネルギーが約何 eV のところに現れるか．

1. 運動エネルギー510 eV，見かけの結合エネルギー744 eV
2. 運動エネルギー520 eV，見かけの結合エネルギー734 eV
3. 運動エネルギー530 eV，見かけの結合エネルギー724 eV
4. 運動エネルギー540 eV，見かけの結合エネルギー714 eV
5. 運動エネルギー550 eV，見かけの結合エネルギー704 eV.

問１４４　X 線光電子スペクトルでは化学結合状態がわかるといわれている．次の項目で化学結合状態と関係のない項目はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. ケミカルシフト
2. サテライト線の出現.
3. 複数のピークの相対強度比
4. ピークの半値幅の変化
5. ピークの絶対計数強度

問１４５　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．

3 次元格子に対し，その逆格子空間内には（　a　）が周期配列する．同様に，2 次元格子に対しては（　b　）が，そして 1 次元格子に対しては（　c　）が周期配列する．1 原子層のみから成る理想的 2 次元格子に対して反射高速電子回折（RHEED）の入射視斜角を単調変化させた場合，RHEED スクリーン内の回折斑点強度は（　d　）．この 2 次元格子に対して低速電子回折（LEED）の入射エネルギーを単調変化させた場合，LEED スクリーン内の回折斑点強度は（　e　）．

1. (a) 逆格子点，　(b) 逆格子ロッド，(c) 逆格子面，(d) 単調に変化する，(e)　振動する
2. (a) 逆格子ロッド，(b) 逆格子点，　(c) 逆格子面，(d) 振動する，　(e) 単調に変化する
3. (a) 逆格子点，　(b) 逆格子面，　(c) 逆格子ロッド，(d) 振動する，　(e) 単調に変化する
4. (a) 逆格子点，　(b) 逆格子ロッド，(c) 逆格子面，(d) 単調に変化する，(e) 単調に変化する
5. (a) 逆格子面，　(b) 逆格子ロッド，(c) 逆格子点，(d) 単調に変化する，(e) 振動する

問１４６　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．

ある結晶表面を低速電子回折（LEED）観察したところ下の図 1 のパターンを示した．この結晶表面は（　a　）格子であることがわかる．この表面上に異種元素を吸着させたところ下の図 2，図 3，図 4 のようなパターンを示した．（白抜き印は基本反射，＋印は超格子反射を示す．）図 2 のパターンから（　b　）表面超構造を有すことがわかる．図 3 のパターンにおいて，いかなる入射エネルギーにおいても 1/2 1/2 超格子斑点およびそれと等価な超格子斑点が現れなかったことからこの表面には（　c　）超構造が形成されていると考えられる．図 4 のパターンから表面には（　d　）超構造の存在が考えられる．この表面は（　e　）超構造とみなすことも可能である．

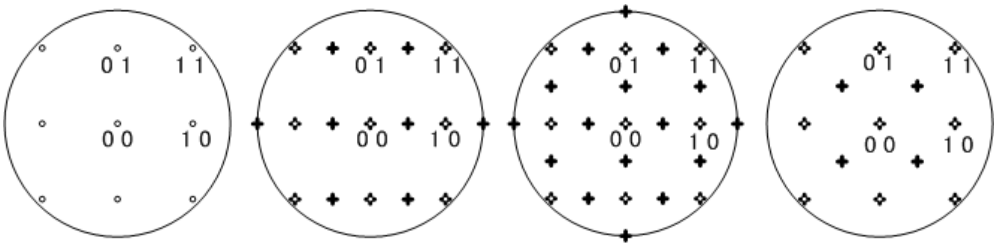
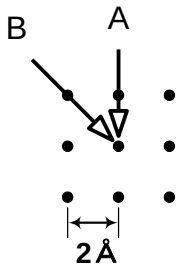


図1　図2　図3　図4

1. (a) 正方，　(b) 2×1，　(c) 二重分域の 2×1，　(d) c(2×2)，　(e) $\sqrt{2}\times\sqrt{2}-R45°$
2. (a) 正方，　(b) 2×2，　(c) 二重分域の 2×1，　(d) 2×3，　(e) $\sqrt{2}\times\sqrt{2}-R45°$
3. (a) 正方，　(b) 2×1，　(c) 2×2，　(d) 3×3，　(e) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}-R30°$
4. (a) 長方，　(b) 2×1，　(c) 二重分域の 2×2，　(d) c(2×2)，　(e) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}-R30°$
5. (a) 六方，　(b) 4×2，　(c) 2×2，　(d) 4×4，　(e) $\sqrt{2}\times\sqrt{2}-R45°$

問１４７　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 A の方位に視射角 6° で入射させたときの反射高速電子回折（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．この視斜角を保ったまま，入射方位を４５° 回転した時（矢印 B），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（　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低速電子回折（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，１１反射回折ビームは表面垂直方向から測って（　e　）の開き角を有す．

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

問１４８　赤外分光法に関し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) 赤外全反射分光（ATR）法では，スペクトル領域によって測定深さが異なり，高波数領域ほど測定深さは浅くなる．

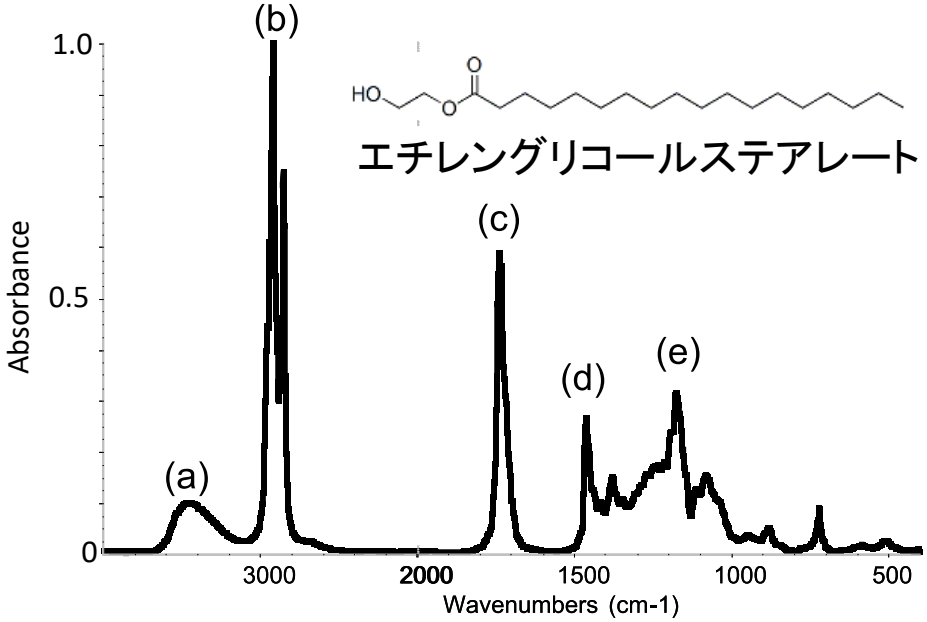
(b) 赤外スペクトルの横軸の単位は cm である．

(c) 分子や結晶の振動モードは様々な種類があるが，おおよそ官能基の種類によって赤外吸収帯の位置は同じなので，赤外吸収帯から官能基の種類をある程度特定できる場合がある．

(d) 高感度反射（RAS）法では，赤外線がプリズム内を全反射する際にプリズムの外側にわずかにしみ出す光を利用する．

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

問１４９　下の図の赤外スペクトルの帰属について，適切な組合せはどれか．下の 1～5 より選びなさい．



1. (a) OH 伸縮振動，(b) CH 伸縮振動，(c) C=O 伸縮振動，(d) CH 変角振動，(e) C-O 伸縮振動
2. (a) OH 伸縮振動，(b) CH 伸縮振動，(c) CH 変角振動，(d) C-O 伸縮振動，(e) C=O 伸縮振動
3. (a) CH 伸縮振動，(b) OH 伸縮振動，(c) C=O 伸縮振動，(d) C-O 伸縮振動，(e) CH 変角振動
4. (a) CH 伸縮振動，(b) OH 伸縮振動，(c) C-O 伸縮振動，(d) C=O 伸縮振動，(e) CH 変角振動
5. (a) OH 伸縮振動，(b) CH 伸縮振動，(c) CH 変角振動，(d) C=O 伸縮振動，(e) C-O 伸縮振動

問１５０　ラマン散乱分光に関して，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) ラマン散乱光の振動数と入射光の振動数の差がラマンシフトであり，分子や結晶の振動数に対応する．

(b) ラマン散乱の光源として用いる単色光は可視光以外にも紫外光，近赤外光なども選択することができる．

(c) 顕微ラマン分光法は，光学顕微鏡とラマン分光法を組合せたものであり，入射光の波長程度の空間分解能で分析をすることが可能である．

(d) ラマン散乱光の強度は物質の密度に依存するため，同じ密度の物質であれば散乱強度は同程度である．

(e) 表面増強ラマン散乱を用いると，一個の分子を検出できるほど高感度な分析が可能になる場合もある．

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

問１５１　ラマン分光法の測定に関して，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) 物質による感度差が大きいので，わずかにしか含まれないラマン散乱強度の強い成分が観測される場合がある．

(b) 着色した物質のラマン分析を行なうと，光が内部にまで入らないために，透明な試料と比較して常にラマン散乱強度は弱くなってしまう．

(c) 顕微ラマンのアパーチャーを変化させるとレーザー光のスポット径が変化して，空間分解能を変えることができる．

(d) ラマン散乱では，蛍光による妨害を避けるため，レーザー光の波長を変化させることが効果的な場合がある．

(e) 使用する入射光の強度が強いほどラマン散乱強度は大きくなるので，入射レーザー強度は常に最大で測定することが望ましい．

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

問１５２　透過電子顕微鏡で用いられる３つの可動絞りの名称として，電子銃側から見て適切な並び順はどれか．1～5の番号で答えなさい．

1.（電子銃）　制限視野絞り（試料）対物絞り コンデンサ絞り　（スクリーン）
2.（電子銃）　コンデンサ絞り（試料）対物絞り 制限視野絞り　（スクリーン）
3.（電子銃）　コンデンサ絞り（試料）制限視野絞り 対物絞り　（スクリーン）
4.（電子銃）　対物絞り（試料）コンデンサ絞り 制限視野絞り　（スクリーン）
5.（電子銃）　対物絞り（試料）制限視野絞り コンデンサ絞り　（スクリーン）

問１５３　透過電子顕微鏡の回折コントラスト法に関する適切な記述はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 回折コントラスト法では転位の可視化ができるが，積層欠陥は観察できない．
2. 非晶質の透過電子顕微鏡像ではコントラストは生じない．
3. 多結晶体を観察すると結晶粒の方位に応じてコントラストが変化する．
4. 試料が単結晶で歪を持たない場合，試料全体でコントラストは生じない．
5. 制限視野絞りを用いて透過波または回折波の１つを選んで結像する．

問１５４　透過電子顕微鏡で結晶格子像を撮影する場合，一般に望ましい操作はどれか．適切な記述の組合せを下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 試料の方位を調整し，晶帯軸入射にする．
(b) 透過波のみを通す，小さな対物絞りを用いる．
(c) 大きな対物絞りを用いる．
(d) フォーカス調整は，中間レンズの励磁調整のみで行う．
(e) 像撮影中は振動を与えない．

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

問１５５　走トンネル顕微鏡（STM）において，表面構造を原子分解能で観察できる理由に当てはまらないものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. トンネル電流をレンズで高精度に収束できるため．
2. 探針先端が原子レベルで先鋭であるため．
3. トンネル電流を高精度に測定できるため．
4. 探針・表面間の距離を原子レベルで制御することができるため．
5. トンネル電流の距離依存性が非常に強いため．

問１５６　サイクリックコンタクト（タッピング）方式原子間力顕微鏡（AFM）において，探針・試料間に働く力を小さくできるのはなぜか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 探針先端の曲率半径が小さいため．
2. カンチレバーが弾性変形し，強い力を吸収するため．
3. 探針が試料表面に常に接触しているため．
4. 探針が試料表面に接触していないため．
5. 探針が試料表面に周期的に接触しているため．

問１５７　真空中で試料表面の原子像を観察するのに最も適した原子間力顕微鏡（AFM）の動作方式はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 周波数変調（FM）方式
2. 接触方式
3. 振幅変調（AM）方式
4. 位相変調（PM）方式
5. サイクリックコンタクト（タッピング）方式

問１５８　ダイナミック二次イオン質量分析法（D-SIMS）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) 原理的には全元素の分析が可能であるが，イオン化しにくく感度の悪い元素もある．
(b) スパッタリングによる深さ方向分析が可能である．
(c) 分子イオンの検出により化学状態分析が可能である．
(d) 元素固有の相対感度係数を用いれば，標準試料が無くても定量分析が可能である．
(e) 電子銃を併用することで絶縁物分析が可能である．

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

問１５９　表面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．

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　）している粒子を質量分析し，検出することにより試料の構成元素を非常に高感度に分析する表面分析の代表的手法である．より高感度な元素検出を行う為に，イオン化ポテンシャルの（　b　）元素（Be, B, Mg,・・・）の検出には（　c　），逆傾向の電子親和力の（ d ）元素（C, O, F・・・）に対しては（　e　）を一次イオンとして用いると，それぞれ高い二次イオン検出効率が得られる．

1. (a) 中性化,　(b) 小さい,　(c) 酸素イオン,　(d) 大きい,　(e) セシウムイオン
2. (a) 中性化,　(b) 大きい,　(c) セシウムイオン,　(d) 小さい,　(e) 酸素イオン
3. (a) イオン化,　(b) 小さい,　(c) 酸素イオン,　(d) 大きい,　(e) セシウムイオン
4. (a) イオン化,　(b) 小さい,　(c) セシウムイオン,　(d) 大きい,　(e) 酸素イオン
5. (a) イオン化,　(b) 大きい,　(c) 酸素イオン,　(d) 小さい,　(e) セシウムイオン

問１６０　ダイナミック二次イオン質量分析法（SIMS）について間違った記述の組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

(a) 希ガス元素の分析は一般に困難である．
(b) 不純物から主成分レベルまで幅広いレンジでの元素定量分析が可能である．
(c) 表面近傍では定量性および深さ分解能の良い分析は難しい．
(d) 深さ分解能を高くするためには，スパッタレートが小さい方が良い．
(e) マトリックス効果を利用することにより，定量性の良い分析が可能である．

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

問１６１　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．

二次イオン質量分析（SIMS）装置には，二次イオンの質量分離を行う質量分析器の形式に応じて四重極型，セクター型，飛行時間型と呼ばれる装置がある．（　a　）型質量分析装置の特徴は（　b　）質量分解能，高感度にて分析できることである．一方，（　c　）型質量分析装置の特徴は，（　d　）イオン照射が行いやすいため深さ方向で（　e　）分解能が得られることである．また，（　f　）型質量分析装置は，（　g　）透過率であるため，微弱なパルス状一次イオンをプローブとして用いるスタティックSIMSでは主流となっている．

1. (a) 飛行時間，(b) 高，(c) 四重極，(d) 低エネルギー，(e) 高，(f) セクター，(g) 高
2. (a) セクター，(b) 高，(c) 四重極，(d) 低エネルギー，(e) 高，(f) 飛行時間，(g) 高
3. (a) 四重極，(b) 高，(c) セクター，(d) 高エネルギー，(e) 高，(f) 四重極，(g) 高
4. (a) セクター，(b) 低，(c) 四重極，(d) 低エネルギー，(e) 低，(f) 飛行時間，(g) 高
5. (a) 四重極，(b) 低，(c) 飛行時間，(d) 低エネルギー，(e) 高，(f) セクター，(g) 高

問１６２　飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）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) 低エネルギーの一次イオンを用いるため，試料損傷が少なく，分子イオンや大きなフラグメントが検出可能である．

(b) 一次イオンは表面から数原子層までしか侵入しないため，表面数原子層もしくは数分子層からの信号が主である．

(c) 分子イオンを高感度に検出する為には，軽いイオンよりも重いイオンを一次イオンとして用いるほうが良い．

(d) ダイナミックSIMSと同様にマトリックス効果によるイオン強度変化が見られる．

(e) パルス一次イオンをバンチングすることにより，質量分解能と空間分解能を同時に向上させて測定を行うことが可能である．

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

問１６３　飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）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) TOF-SIMS において，一次イオンのパルス幅は質量分解能に影響する．

(b) TOF-SIMS のイメージング方式は，走査型と投影型があるが，現在の主流は投影型である．

(c) クラスターイオンを用いると，二次イオン増感効果により二次イオン収率が向上する．

(d) クラスターイオンは，多くの原子で一度に衝撃するため，単原子イオンよりもダメージ深さが浅く，スパッタレートは著しく低下する．

(e) クラスターイオンで損傷を低減できる理由の 1 つは，クラスターを構成する 1 原子あたりのエネルギーが低いためである．

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

問１６４　次の顕微鏡（A 群）と物理量（B 群）との適切な組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

A 群	B 群
(1) 走査トンネル顕微鏡	(a) ファラデー電流
(2) 走査超伝導量子干渉素子顕微鏡	(b) 磁束
(3) 走査電気化学顕微鏡	(c) トンネル電流
(4) 走査ケルビンプローブフォース顕微鏡	(d) 近接場光
(5) 走査近接場光顕微鏡	(e) 表面電位

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

問１６５　以下の走査トンネル顕微鏡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) STM と略され，超高真空中でも大気中でも測定できる．
(b) STM と略され，超高真空中でも水中でも測定できる．
(c) AFM と略され，水中では測定できない．
(d) AFM と略され，大気中では測定できない．
(e) STM と略され，超高真空中でしか測定できない．

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

問１６６　シリコン電界効果トランジスタ（MOS-FET）では，シリコン中のドーパント量が特性に大きく影響するため，濃度の分布を詳しく知ることが重要である．この測定に利用できる主な分析法を以下に列挙した．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．

（1）3 次元アトムプローブ法（3DAP）:（　a　）と飛行時間型質量分析器を組合せた手法であり，元素種と原子位置の特定を同時に行うことができるものである．試料を先鋭な針の形状に加工する必要がある．

（2）走査広がり抵抗顕微鏡法（SSRM）: プローブと試料表面間を流れる電流を測定し，プローブ・試料間の広がり抵抗を測定することにより，ドーパント濃度の分布を測定できる．もう一つの抵抗成分である（　b　）の寄与を明らかにしておく必要がある．

（3）走査容量顕微鏡法（SCM）: プローブと試料間の（　c　）を測定することにより，プローブ直下のドーパント濃度分布を知る手法であり，容量の検出手法によっていくつかのバリエーションがある．

（4）ケルビンプローブフォース顕微鏡（KFM）: プローブと試料間の仕事関数差あるいは静電ポテンシャルの差を測定するものであり，ドーパントが（　d　）していれば，測定可能である．

（5）走査トンネル顕微鏡（STM）:（　e　）と試料表面間にバイアスを印加してトンネル電流を流し，その空間マッピングをとることにより，高い空間分解能でドーパント位置を知ることができる．分解能は極めて高いが，試料表面の状態を理想表面状態に保つことが必要となる．

1. (a) 電子顕微鏡,　(b) 配線抵抗，(c) 静電容量，(d) イオン化，(e) 導電性プローブ
2. (a) 電界イオン顕微鏡，(b) 接触抵抗，(c) 浮遊容量，(d) 中性化，　(e) 絶縁性プローブ
3. (a) 電子顕微鏡,　(b) 配線抵抗，(c) 静電容量，(d) イオン化，(e) 導電性プローブ
4. (a) 電界イオン顕微鏡，(b) 接触抵抗，(c) 浮遊容量，(d) 中性化，　(e) 絶縁性プローブ
5. (a) 電界イオン顕微鏡，(b) 接触抵抗，(c) 静電容量，(d) イオン化，(e) 導電性プローブ

問１６７　ラザフォード後方散乱法（RBS）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) 一般に軽元素に比べて重元素の方が精度良く分析ができる．
(b) 通常の測定では深さ分解能は 0.2 nm 程度である．
(c) 水素の分析も可能である．
(d) 格子欠陥の測定が可能である．
(e) 膜厚を長さの単位で求めるためには試料の原子密度が必要となる．

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

問１６８　透過電子顕微鏡（TEM）における電子エネルギー損失分光法（EELS）について適切な記述の組合せはどれか.

(a) 化学組成分析はできない.
(b) 弾性散乱電子を用いて分析を行う.
(c) 結合状態分析が可能である.
(d) 薄い試料の方が分析に適している.

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

問１６９　透過電子顕微鏡（TEM）を用いて分析を行う場合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) 格子定数の差が約 0.2%程度しかない Au と Ag の全率固溶合金の化学組成を測定するために，エネルギー分散型 X 線分光法（EDS）を用いた.
(b) 水素濃度を測定するために，エネルギー分散型 X 線分光法（EDS）を用いた.
(c) 試料の局所領域における原子の配位数を調べるために，電子エネルギー損失分光法（EELS）を用いた.
(d) 試料の厚さ方向に同一原子が配列しているような化合物試料の原子配列を決定するために，エネルギー分散型 X 線分光法（EDS）を用いた.

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

問１７０　走査透過電子顕微鏡（STEM）における電子エネルギー損失分光法（EELS）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) 特定の元素の分布を測定できる.
(b) オージェ電子を検出することができる.
(c) 内殻電子の束縛エネルギーに関する情報が得られる.
(d) 価電子帯の状態密度に関するスペクトルが容易に測定できる.

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

問１７１　紫外線光電子分光（UPS）での検出深さ（光電子の脱出深さ）はどれくらいか．適切なものを 1～5 の番号で答えなさい．ただし，測定する光電子の運動エネルギーは 20～40 eV の範囲であるとする.

1. 0.5 nm 以下,　2. 0.5～1 nm,　3. 数 nm,　4. 数 10 nm,　5. 1 μm 以上

問１７２　紫外線光電子分光法（UPS）で得ることができない情報はどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. バンド分散,　2. 仕事関数,　3. 電子の結合エネルギー,
4. 非占有状態密度,　5. 電子の運動量

問１７３　光電子分光におけるエネルギー分解能 ΔE は，アナライザーの分解能 ΔE_{Ana} と励起光の自然幅 ΔE_{hn} によってどのように表されるか．適切な表式を 1～5 の番号で答えなさい．

1. $\Delta E = \Delta E_{\mathrm{Ana}} + \Delta E_{\mathrm{hn}}$　（和）
2. $\Delta E = \Delta E_{\mathrm{Ana}} \times \Delta E_{\mathrm{hn}}$　（積）
3. $\Delta E = (\Delta E_{\mathrm{Ana}} + \Delta E_{\mathrm{hn}})/2$　（相加平均）
4. $\Delta \mathrm{E}^2 = \Delta E_{\mathrm{Ana}}^2 + \Delta E_{\mathrm{hn}}^2$　（自乗和）
5. $1/\Delta E = (1/\Delta E_{\mathrm{Ana}} + 1/\Delta E_{\mathrm{hn}})/2$　（調和平均）

問１７４　紫外線光電子分光法（UPS）は固体のどのような情報を得るために用いられることが多いか．適切な語句を 1～5 の番号で答えなさい．

1. 試料の組成,　2. 試料の大きさ,　3. 試料の結晶性,
4. 試料の内殻準位,　5. 試料の価電子帯構造

問１７５　X 線吸収微細構造法（XAFS）の測定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．

XAFS 測定を固体表面に適用する場合の測定法として（　a　）法と（　b　）法があるが，前者はさらに（　c　）法と（　d　）法と（　e　）法に分類される．（　b　）法は主に硫黄より原子番号が大きな元素の測定に用いられる．（　c　）法は（　a　）法の中でも最も表面鈍感であるが簡便に測定できるのでよく用いられる．（　d　）法と（　e　）法は検出する対象が似ているが，（　e　）法は電子エネルギー分析器で測定するので正確なスペクトルが測定できる反面，時間を要する．

1. (a) 電子収量, (b) 透過,　(c) 部分電子収量,　(d) オージェ電子収量, (e) 全電子収量
2. (a) 電子収量, (b) 蛍光収量, (c) 全電子収量,　(d) 部分電子収量,　(e) オージェ電子収量
3. (a) 蛍光収量, (b) 透過,　(c) オージェ電子収量, (d) 全電子収量,　(e) 部分電子収量
4. (a) 電子収量, (b) 蛍光収量, (c) 部分電子収量,　(d) 全電子収量,　(e) オージェ電子収量
5. (a) 蛍光収量, (b) 透過,　(c) オージェ電子収量, (d) 部分電子収量,　(e) 全電子収量

問１７６　ある吸着分子の遷移モーメントの方向を測定しようとＸ線の入射角を変えてＸ線吸収端近傍微細構造法（NEXAFS）を測定したところ，表面垂直からの電場ベクトルの角度θが 90°のときと 30°のときのこの遷移モーメントによる遷移強度の強度比 $I(90°)/I(30°)$は 0.50 であった．このとき，遷移モーメントの表面垂直からの角度は何度か．1～5 の番号で答えなさい．ただし偏光度は 100 %とし，遷移強度は次のように角度に依存するものとする．

$$I \propto \left[1+\frac{1}{2}(3\,cos^2\theta-1)\cdot(3\,cos^2\alpha-1)\right]$$

（ここで，θは表面垂直からの電場ベクトルの角度，α は表面垂直からの遷移モーメントの角度である.）

1. 84°　2. 76°　3. 69°　4. 43°　5. 35°

問１７７　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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) 電子ビームの照射により励起された連続Ｘ線を利用して組成分析ができる.
(b) 有機物分析に最も多く利用されている.
(c) 水素の分析が不可能である.
(d) マッピング分析により元素の分布や濃度を表示できる.
(e) 入射電子エネルギーと特性Ｘ線強度は比例しない.

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

問１７８　電子線マイクロアナライザー（EPMA）に関する次の記述のなかで (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.

EPMA の X 線分光には一般的に波長分散型分光器が使用されており，走査型電子顕微鏡（SEM）に（　a　）型分光器を搭載した装置と比較して大型の分析装置である．この波長分散型分光器では分光結晶により特性Ｘ線が（　b　）され，検出器で計測される．検出器はガス比例計数管が使用されているがＸ線が入射する検出器窓には（　c　）膜と軽元素用に高分子膜が使用されている．EPMA 機能の特長のひとつは光学顕微鏡が搭載されていることである．これにより物質表面の変色等の分析が可能である．一般的に EPMA の試料室は真空に保たれており，真空排気には（　d　）ポンプや（　e　）ポンプが使用されている.

1. (a) エネルギー分散,　(b) ブラッグ反射,　(c) ベリリウム,　(d) 拡散,　(e) ターボ分子
2. (a) 静電型,　(b) 放出,　(c) BN,　(d) ターボ分子,　(e) イオン
3. (a) エネルギー分散,　(b) ブラッグ反射,　(c) BN,　(d) 拡散,　(e) クライオ
4. (a) ブラッグ反射,　(b) 放出,　(c) ベリリウム,　(d) ターボ分子,　(e) イオン
5. (a) 静電,　(b) ブラッグ反射,　(c) BN,　(d) ソープション,　(e) ターボ分子

問１７９　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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) EPMA による定量分析には一般的に標準試料が必要である．
(b) EPMA による微量炭素の定量分析には ZAF 定量補正法が適している．
(c) EPMA では全ての検出元素において微小部状態分析が可能である．
(d) EPMA では分析試料が電子ビームによる熱ダメージを受けることがある．
(e) EPMA では入射電子エネルギーによって分析領域が変わる．

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

問１８０　走査電子顕微鏡（SEM）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) SEM に利用される電子として主に二次電子と反射電子があるが，二次電子は反射電子に比べて物質の組成情報を多く有している．
(b) SEM に利用される二次電子とは一般的に 50 keV 以上のエネルギーの電子を指す．
(c) SEM に利用される反射電子は主に弾性散乱電子と非弾性散乱電子に分類できる．
(d) SEM に利用される加速電圧は一般的に数百ボルトから数万ボルトである．
(e) SEM に利用される一次電子とは電子源より放出された電子ビームを指す．

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

問１８１　⇒　欠番（削除）

問１８２　エネルギー分散型 X 線分光器（EDS）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) WDS に比較して軽元素の検出感度が高い点が特長である．
(b) EDS は主に気体電離型検出器を利用したものである．
(c) シリコンドリフト検出器（SDD）は Si(Li)検出器に比べて計数率が高い．
(d) Si(Li)型検出器は冷却が必要である．
(e) 波長分散型 X 線分光器（WDS）に比較してエネルギー分解能が低い．

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

問１８３　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．

イオン散乱における散乱断面積は入射イオンのエネルギーの２乗に（　a　）する．（　b　）程度のエネルギーの軽元素イオンを用いるラザフォード後方散乱法（RBS）では，散乱断面積が非常に（　c　）ので，後方散乱された粒子は試料内で（　d　）されたものがほとんどである．このため RBS による分析は試料内部の元素組成に関して（　e　）．

1. (a) 比例,　(b) MeV,　(c) 大きい,　(d) 多重散乱,　(e) 定量性が低い
2. (a) 比例,　(b) keV,　(c) 小さい,　(d) 一回散乱,　(e) 定量性が高い
3. (a) 反比例,　(b) MeV,　(c) 大きい,　(d) 多重散乱,　(e) 定量性が低い
4. (a) 反比例,　(b) MeV,　(c) 小さい,　(d) 一回散乱,　(e) 定量性が高い
5. (a) 反比例,　(b) keV,　(c) 大きい,　(d) スパッター,　(e) 定量性が低い

問１８４　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．

ラザフォード後方散乱法（RBS）では，高速粒子の物質中でのエネルギー損失に基づいて，（　a　）程度の深さまで深さ方向の非破壊定量分析ができる．RBS で用いられる高エネルギーの軽元素イオンのエネルギー損失の原因は，主に物質の（　b　）である．高速粒子が物質中を単位距離進む間の平均のエネルギー損失は（　c　）とよばれ，粒子の種類やエネルギーに（　d　）．H イオンや He イオンに対する（　c　）は，物質の種類（元素）ごとに数表などで与えられている．物質が化合物の場合の（　c　）は，各成分元素の（　c　）を単位体積当たりの原子数で割った量 ε から評価することができる．例えば，あるイオンに対するケイ素，酸素のεの値がそれぞれ，63.2 eV / (10^{15} atoms/cm^2)，41.5 eV / (10^{15} atoms/cm^2)である場合，同じイオンに対する二酸化ケイ素（SiO_2）の ε の値は約（　e　）eV / (10^{15} atoms/cm^2)と分かる．

1. (a) μm,　(b) 原子による弾性散乱,　(c) ｴﾈﾙｷﾞｰﾛｽ･ｽﾄﾗｸﾞﾘﾝｸﾞ,　(d) 依存する,　(e) 56
2. (a) μm,　(b) 電子の励起,　(c) 阻止能,　(d)依存しない,　(e) 49
3. (a) mm,　(b) 電子の励起,　(c) ｴﾈﾙｷﾞｰﾛｽ･ｽﾄﾗｸﾞﾘﾝｸﾞ,　(d) 依存しない,　(e) 56
4. (a) μm,　(b) 電子の励起,　(c) 阻止能,　(d) 依存する,　(e) 49
5. (a) mm,　(b) 原子による弾性散乱,　(c) 阻止能,　(d) 依存しない,　(e) 146

問１８５　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．

赤外線の吸収は，分子振動に伴って（　a　）が変化する場合に生じる．一方，ラマン散乱は分子振動によって（　b　）が変化する場合に観測される．窒素や酸素などの等核二原子分子では，振動が起こっても（　c　）は変化しないため，（　d　）は示さないが，（　e　）は観測される．

1. (a) 分極率,　(b) 双極子モーメント,　(c) 分極率,　(d) ラマン散乱, (e) 赤外吸収
2. (a) 双極子モーメント,　(b) 分極率,　(c) 双極子モーメント,　(d) ラマン散乱, (e) 赤外吸収
3. (a) 双極子モーメント,　(b) 分極率,　(c) 分極率,　(d) 赤外吸収,　(e) ラマン散乱
4. (a) 双極子モーメント,　(b) 分極率,　(c) 双極子モーメント,　(d) 赤外吸収,　(e) ラマン散乱
5. (a) 分極率,　(b) 双極子モーメント,　(c) 分極率,　(d) 赤外吸収,　(e) ラマン散乱

問１８６　赤外分光法に関する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) 赤外顕微鏡では，光学顕微鏡と同様に，ガラスレンズを用いて赤外線を集光して微小部の測定を行なうことができる．

(b) 一般に，赤外スペクトルの横軸の単位は cm^{-1} が多く用いられる．

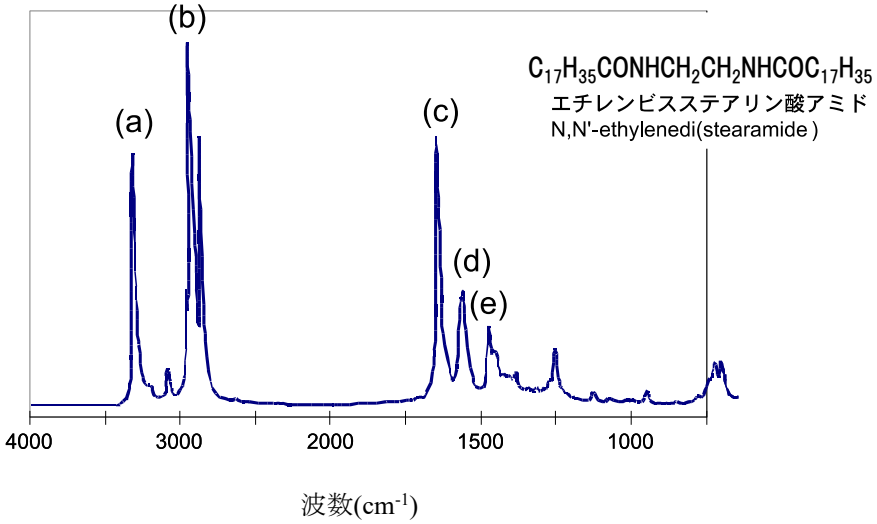
(c) 減衰全反射（ATR）法では，スペクトル領域によって測定深さが異なり，高波数領域ほど測定深さは深くなる．

(d) 分子や結晶の振動モードは様々な種類があるが，おおよそ官能基の種類によって赤外吸収帯の位置は同じなので，赤外吸収帯から官能基の種類をある程度特定できる場合がある．

(e) ATR とは，金属表面上の薄膜や分子吸着種に用いられる方法で，赤外スペクトルを高感度に測定できる．

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

問１８７　次の赤外スペクトルの帰属について，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．



1. (a) OH 伸縮振動，(b) CH 伸縮振動，(c) NH 変角振動，(d) C=O 伸縮振動，(e) C=O 伸縮振動
2. (a) NH 伸縮振動，(b) NH 伸縮振動，(c) C=O 伸縮振動，(d) NH 変角振動，(e) CH 変角振動
3. (a) NH 伸縮振動，(b) CH 伸縮振動，(c) C=O 伸縮振動，(d) CH 変角振動，(e) NH 変角振動
4. (a) NH 伸縮振動，(b) CH 伸縮振動，(c) C=O 伸縮振動，(d) NH 変角振動，(e) CH 変角振動
5. (a) CH 伸縮振動，(b) NH 伸縮振動，(c) NH 変角振動，(d) C=O 伸縮振動，(e) C-O 伸縮振動

問１８８　ラマン分光法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．

ラマン分光法は，物質に（　a　）などの単色光を入射し，振動エネルギー分だけシフトして発生するラマン散乱光を観測する手法であり，基本的には（　b　）と同じように分子や結晶の（　c　）に関する情報が得られる手法である．単色光には近赤外光から可視光，紫外光までの様々な励起光源を選択することができる．（　d　）のあるような分子や結晶系では，赤外スペクトルで観測される振動モードはラマンスペクトルでは観測されないといういわゆる（　e　）が存在する．

1. (a) 赤外光，　(b) 核磁気共鳴法，　(c) 元素，　(d) 反転中心，　(e) 相補性
2. (a) レーザ光，　(b) 核磁気共鳴法，　(c) 元素，　(d) 回転中心，　(e) 相関性
3. (a) レーザ光，　(b) 赤外分光法，　(c) 振動，　(d) 回転中心，　(e) 相関性
4. (a) レーザ光，　(b) 赤外分光法，　(c) 振動，　(d) 反転中心，　(e) 相補性
5. (a) 赤外光，　(b) 赤外分光法，　(c) 振動，　(d) 反転中心，　(e) 相補性

問１８９　ラマン分光法の測定に関して，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) バンド位置やピーク強度の詳細な解析から，残留応力や温度などの物理量を解析することができる場合もある．

(b) 蛍光による妨害を避けるためには，励起波長の変更が有効な場合がある．

(c) ラマンバンドの強度はどのような化合物でも官能基の種類によって決まっており，ラマンスペクトルを用いて官能基の定量を行なうことができる．

(d) どちらかと言えば官能基に対する感度が高く，骨格振動に関する感度が低い傾向にある．

(e) 使用する入射光の強度が強いほどラマン散乱強度は大きくなり，入射レーザ強度は常に最大で測定する．

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

問１９０　次の文章中の (a)〜(e) に入れる適切な数値の組合せはどれか．下の 1〜5 の番号で答えなさい．

図 1 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 A で示す方位で入射させたとき RHEED パターンは図 2 に示すように 0 次ラウエ帯の 1 0 および $\bar{1}$ 0 の両サイドの斑点がシャドウエッジ上に現れた．このとき鏡面反射斑点の縦方向の伸びが両サイドの斑点間の距離の 20%程度であった．(1 0) および ($\bar{1}$ 0) ロッド間の距離は（　a　）[1/Å]である．エワルド球と (0 0)ロッドとの交点はシャドーエッジ面から（　b　）[1/Å]の位置であるため，入射電子の視射角は $\theta = \sin^{-1}$（　c　）である．θ の値は小さいため $\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta$ の関係を用いれば，(0 0)ロッドの太さは約（　d　）[1/Å]となり，入射方位の結晶分域の θ 広さは（　e　）[Å] 程度と考えられる．ただし，入射電子の太さや広がりは考慮しないものとする．

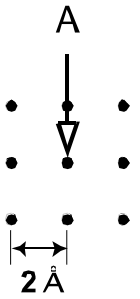


図 1

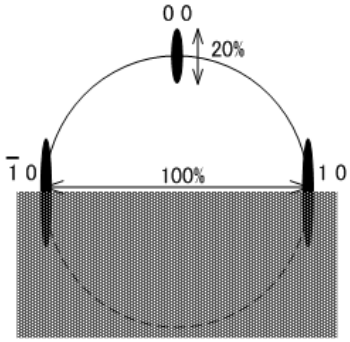
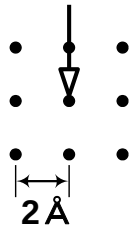


図 2

1. (a) 1　(b) 0.2　(c) 0.02　(d) 0.01　(e) 1000
2. (a) 2　(b) 0.5　(c) 0.02　(d) 0.02　(e) 50
3. (a) 1　(b) 0.5　(c) 0.02　(d) 0.01　(e) 100
4. (a) 2　(b) 0.2　(c) 0.05　(d) 0.05　(e) 20
5. (a) 1　(b) 0.5　(c) 0.05　(d) 0.01　(e) 100

問１９１　次の文章中の (a)～(e) に入れる適切な数値の組合せはどれか．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 10 kV の電子線を矢印の方位に視射角 5° 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 5° ＝ 0.087 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 100 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　）よりも広くなる．



1. (a) 1.2,　(b) 3,　(c) 5,　(d) 0.10,　(e) 45°
2. (a) 0.12,　(b) 3,　(c) 7,　(d) 1.5,　(e) 30°
3. (a) 0.15,　(b) 5,　(c) 7,　(d) 1.0,　(e) 45°
4. (a) 0.12,　(b) 5,　(c) 9,　(d) 1.2,　(e) 30°
5. (a) 0.12,　(b) 3,　(c) 7,　(d) 1.2,　(e) 30°

問１９２　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．

走査トンネル顕微鏡（STM）では探針先端から試料表面に流れるトンネル電流を測定している．トンネル電流が流れるために，探針は（　a　）で，試料は（　b　）であることが必要である．試料に対して探針に負の電圧を印加すると，電子は，探針のフェルミ面近傍の（　c　）準位から，試料のフェルミ面近傍の（　d　）準位にトンネルする．このとき，トンネル電流は，試料のフェルミ面近傍の電子数に（　e　）して，その数はフェルミ面近傍の電子の状態密度と電子のフェルミ分布関数の積で決まる．したがって，一般に，トンネル電流には，電極間の垂直距離だけでなく，STM 探針側と試料側の電極の電子の状態密度，仕事関数，電子のフェルミ分布関数の情報等も入っている．

1. (a) 導電体,　(b) 導電体,　(c) 詰まっている，(d) 空いている，　(e) 比例
2. (a) 絶縁体,　(b) 導電体,　(c) 詰まっている，(d) 詰まっている，(e) 比例
3. (a) 絶縁体,　(b) 絶縁体,　(c) 空いている，　(d) 詰まっている，(e) 反比例
4. (a) 導電体,　(b) 導電体,　(c) 空いている，　(d) 空いている，　(e) 反比例
5. (a) 絶縁体,　(b) 絶縁体,　(c) 空いている，　(d) 空いている，　(e) 比例

問１９３　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 から選びなさい．

走査トンネル顕微鏡（STM）では，探針先端と試料表面間に流れるトンネル電流を測定して，試料表面の（　a　）の像を観察する．試料に対して探針に正の電圧を印加すると，電子は，（　b　）トンネルするので，試料のフェルミ面近傍の（　c　）準位を観察することになる．逆に，探針に負の電圧を印加すると，試料のフェルミ面近傍の（　d　）準位を観察することになる．探針の位置を固定して電圧を変化させトンネル電流を測定することにより，試料表面の（　e　）の像を観察できる（走査トンネル分光法）．

1. (a) 電子状態，(b) 試料から探針に，(c) 詰まっている，(d) 空いている，　(e) 電子分布
2. (a) 電子状態，(b) 探針から試料に，(c) 詰まっている，(d) 空いている，　(e) 電子分布
3. (a) 原子間力，(b) 試料から探針に，(c) 空いている，　(d) 詰まっている，(e) 原子位置
4. (a) 電子状態，(b) 探針から試料に，(c) 詰まっている，(d) 空いている，　(e) 原子位置
5. (a) 原子間力，(b) 探針から試料に，(c) 空いている，　(d) 詰まっている，(e) 原子位置

問１９４　アトムプローブでは，電圧パルスやレーザーパルスなどにより探針先端から原子を電界蒸発させ，その**イオン**が検出器に到達するまでの時間を測定して個々の原子の質量を決める．質量 m の原子が n 価のイオンとして電界蒸発したとき，m/n を探針に印加する電圧 V と飛行時間 t で表す式は下記のどれか．1～5 の番号で答えなさい．ただし飛行距離を l，素電荷を $q=1.6\times10^{-19}$ C とする．

1. $m/n=(2q/l^2)t^2V$,　2. $m/n=(q/l^2)t^2V$,　3. $m/n=(2q/l)t^2V$,　4. $m/n=(q/l)t^2V$,　5. $m/n=(q/l^2)tV$

問１９５　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．

アトムプローブでは，電圧パルスやレーザーパルスなどにより探針先端から原子を電界蒸発させ，そのイオンが検出器に到達するまでの時間を測定して個々の原子の質量を決める．質量 m の原子が n 価のイオンとして電圧 V の探針から速度 v で電界蒸発するとき，イオンの運動エネルギー（　a　）とイオンの静電エネルギー（　b　）は（　c　）．ただし q は素電荷である．また，速度 v は，飛行時間 t，および，探針から検出器までの飛行距離 l を用いて，（　d　）と表せる．これらにより，m/n は（　e　）と表すことができ，探針試料の原子レベルの質量分析ができる．

1. (a) $mv^2/2$,　(b) nqV,　(c) 等しい，　(d) $v=l/t$,　(e) $(2q/l^2)t^2V$
2. (a) mv,　(b) nqV,　(c) 等しい，　(d) $v=lt$,　(e) $(2q/l^2)t^2V$
3. (a) $mv^2/2$,　(b) nqV,　(c) 比例する，　(d) $v=l/t$,　(e) qV^2/lt
4. (a) mv,　(b) nqV^2,　(c) 等しい，　(d) $v=lt$,　(e) $(2q/l^2)t^2V$
5. (a) mv,　(b) nqV^2,　(c) 比例する，　(d) $v=lt$,　(e) qV^2/lt

問１９６　走査トンネル顕微鏡（STM）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．

STM では，探針先端と試料表面との間で（　a　）がトンネルすることにより電流が流れる．探針－試料間に一定の電圧を印加して探針－試料間の電流を一定に制御することにより探針－試料間の（　b　）を一定に制御して試料表面像を得る．そのため，STM 像は表面の（　c　）の像ではなく，表面の（　d　）の像である．また，探針を固定して電圧変化させトンネル電流を測定することにより，表面の（　e　）を測定できる．

1. (a) イオン，(b) 斥力，　(c) 電子分布，　(d) 原子位置，　(e) 電子状態
2. (a) 電子，　(b) 距離，　(c) 電子分布，　(d) 原子位置，　(e) 電子状態
3. (a) 電子，　(b) 距離，　(c) 原子位置，　(d) 電子分布，　(e) 電子状態
4. (a) 電子，　(b) 斥力，　(c) 原子位置，　(d) 電子分布，　(e) 伝導率
5. (a) イオン，(b) 距離，　(c) 電子分布，　(d) 原子位置，　(e) 伝導率

問１９７　走査トンネル顕微鏡（STM）に関する次の文章中の (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．

STM では，探針先端と試料表面との間に電圧を印加して，トンネル現象による探針－試料間の（　a　）を一定に制御することにより試料表面凹凸像を得ているが，実際には表面の（　b　）の像である．また，探針を固定して電圧を変化させトンネル電流を測定することにより，表面の（　c　）を測定する手法を（　d　）と呼ぶ．

1. (a) 静電力，(b) 原子位置，　(c) 電子状態密度，(d) 走査静電容量顕微鏡
2. (a) 静電力，(b) 電子分布，　(c) 電子状態密度，(d) 走査トンネル分光法
3. (a) 電流，　(b) 電子分布，　(c) 電子状態密度，(d) 走査トンネル分光法
4. (a) 電流，　(b) 電子分布，　(c) 誘電率，　(d) 走査静電容量顕微鏡
5. (a) 静電力，(b) 原子位置，　(c) 誘電率，　(d) 走査トンネル分光法

問１９８　石英基板上に EB 蒸着法で膜厚に勾配ができるように不均一に銅薄膜を成膜した．マスクして成膜されなかった部分との段差を触針法で測定したところ，膜厚はゼロから 50 μm まで連続的に変化していた．電子線マイクロアナライザー（EPMA）を電子線の加速電圧 20 kV で用い，この膜の銅の特性 X 線の強度を位置を変えて測定した．膜厚に対する特性 X 線強度の変化の特徴について，適切な記述は次のうちどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 50 μm まで膜厚に比例して増加した．
2. 膜厚の増加とともに減少した．
3. 膜厚に比例して増加するが，やがて増加率は鈍り，飽和した．
4. 膜厚の自乗に比例して増加した．
5. 膜厚に無関係で，一定値を示した．

問１９９　電子線マイクロアナライザー（EPMA）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) ヘリウムの元素分析が可能である．
(b) ナトリウムの元素分析が可能である．
(c) アルゴンの元素分析が可能である．
(d) ホウ素の元素分析が可能である．
(e) 水素の元素分析が可能である．

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

問２００　二次イオン質量分析法（SIMS）について，つぎの実験・判断において，適切な記述の数はいくつか．下の 1～5 の番号で答えなさい．ここで，質量電荷比を m/e と記述する．

(a) 窒化ケイ素膜の深さ方向分析において，$m/e = 14$ の質量スペクトルピークで，窒素濃度の変化を調べた．

(b) リン酸ガラス膜の深さ方向分析において，$m/e = 31$ の質量スペクトルピークの強度変化から，リン濃度の変化を調べた．

(c) アモルファスシリコン太陽電池の分析において，$m/e = 28$，29，30 に質量スペクトルピークが観測された．これらのピーク強度の比は，^{28}Si, ^{29}Si, ^{30}Si の同位体存在比に対応している．

(d) 鋼材の腐食部を分析したところ，$m/e = 23$ の質量スペクトルピークが，$m/e = 56$ の質量スペクトルピークの 3 倍の強度を示し，鉄よりナトリウムが多いことが判明した．

(e) シリコン基板上のアルミニウム薄膜の深さ方向分析を行ったところ，分析を通して酸素が検出された．酸素の信号は，膜中ではほぼ一定であったが，アルミニウム薄膜／シリコン基板界面では，ピークが見られ，膜中よりも濃度が高かった．

1. 0 項目　2. 1 項目　3. 2 項目，　4. 3 項目　5. 4 項目

問２０１　分光エリプソメトリ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) 分光エリプソメトリで，バルク試料のバンド構造の情報を得ることができる．

(b) 分光エリプソメトリの膜厚の測定分解能は，数μm である．

(c) 分光エリプソメトリでは，薄膜試料の屈折率，消衰係数，膜厚を一意に決定することができない．

(d) 分光エリプソメトリで測定可能なのは，膜厚方向に均質な物質のみである．

(e) 分光エリプソメトリの測定対象は，結晶性の物質のみである．

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

問２０２　粗さが大きな表面での X 線反射率は，滑らかな表面での X 線反射率と比べて，どのようになるか．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．ただし入射角とは視射角のことを意味する．

(a) 入射角の増加に対する減衰率は大きくなる．
(b) 入射角の増加に対する減衰率は小さくなる．
(c) 入射角の増加に対する減衰率は変わらない．
(d) 全反射臨界角度から入射角が大きくなるにつれて減衰する．
(e) 全反射臨界角度より少し小さな角度から入射角が大きくなるにつれて減衰する．
(f) 全反射臨界角度より少し大きな角度から入射角が大きくなるにつれて減衰する．

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

問２０３　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．

結晶表面近傍の原子配列構造を調べるための電子回折には（　a　），（　b　），（　c　）の３種類がある．（　a　）では（　d　）程度のエネルギーの電子線を結晶表面にほぼ垂直に照射し，後方散乱した電子による回折パターンを観察する．（　b　）では，10 keV 程度の電子線を結晶表面に（　e　）照射し，前方散乱した電子による回折パターンを観察する．（　c　）では，100 keV 程度の電子線を薄膜状の試料に照射し，（　f　）した電子による回折パターンを観察する．表面に対する感度を向上させるために，（　a　）では電子線のエネルギー，（　b　）では電子線の入射角度，（　c　）では試料の厚さに工夫をしている．

1. (a) LEED,	(b) RHEED,	(c) TED,	(d) 100 eV,	(e) すれすれに,	(f) 透過
2. (a) TED,	(b) LEED,	(c) RHEED,	(d) 1 eV,	(e) 垂直に,	(f) 反射
3. (a) LEED,	(b) TED,	(c) RHEED,	(d) 100 eV,	(e) すれすれに,	(f) 透過
4. (a) TED,	(b) LEED,	(c) RHEED,	(d) 100 eV,	(e) 垂直に,	(f) 反射
5. (a) RHEED,	(b) LEED,	(c) TED,	(d) 100 eV,	(e) すれすれに,	(f) 透過

問２０４　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．

角度分解光電子分光法では，試料表面から特定の方向に放出される光電子の（　a　）を，（　b　）の関数として測定する．放出された光電子の運動エネルギーは，照射した紫外線のエネルギーから仕事関数とフェルミ準位を基準として測定した（　c　）を差し引いた量に等しいので，（　a　）の測定から逆に（　c　）を知ることができる．また，物質表面から光電子が真空中に飛び出してくるときには，表面平行方向の（　d　）が保存されるので，放出方向と運動エネルギーから物質内にいたときの運動量（の表面平行成分）も計算することができる．これによって，（　c　）と波数との関係，つまり（　e　）関係を測定することができる．

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	運動エネルギー，	放出方向，	ポテンシャルエネルギー，	運動量，	分散
2.	運動エネルギー，	放出方向，	束縛エネルギー，	運動量，	分散
3.	運動エネルギー，	光子エネルギー，	束縛エネルギー，	運動量，	分散
4.	速度，	光子エネルギー，	ポテンシャルエネルギー，	運動エネルギー，	不確定性
5.	速度，	放出方向，	ポテンシャルエネルギー，	運動エネルギー，	不確定性

問２０５　走査トンネル顕微鏡法（STM）に関する文章中の (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．

一般に STM 画像は探針形状に強く影響を受ける．試料表面に存在する突起部を探針-試料間距離を一定にして走査することを考える．ただし，基板部分と突起部分とでプローブ信号の探針-試料間距離依存性が異ならないと仮定する．突起の側面部が走査されると，（　a　）との距離が最短になり水平方向の突起の大きさは本来よりも（　b　）画像化される．この試料の水平方向の大きさは突起の高さと探針の曲率半径に依存して決まる．また，突起の最上部は常に（　c　）により測定されるため，突起の高さは幅よりも（　d　）になる．

1. (a) 探針側面，(b) 大きく，(c) 探針先端，(d) 正確
2. (a) 探針側面，(b) 小さく，(c) 探針先端，(d) 不正確
3. (a) 探針先端，(b) 大きく，(c) 探針側面，(d) 正確
4. (a) 探針先端，(b) 小さく，(c) 探針側面，(d) 不正確
5. (a) 探針側面，(b) 大きく，(c) 探針先端，(d) 不正確

問２０６　走査トンネル顕微鏡法（STM）に関する以下の文章中の (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．

先端に複数の突起を持つ探針は，ダブルティップやマルチティップと呼ばれる．このをティップとは探針のことで，これらの呼び名は一つの探針の先端に複数のティップが存在することを表している．ここでは形状が非対称で異なる長さのダブルティップで突起構造を持つ試料を走査することを考える．試料の（　a　）や突起の（　b　）を走査しているときは探針上の最も（　c　）ティップのみが測定に関係するのに対し，長い方のティップが突起構造の近くの平坦部分を走査しているときに短い方のティップが突起構造の側面に近づく状況が起きると，突起構造の複製（ゴースト）が現れる．試料表面に高い突起物が無い場合，マルチティップの影響は（　d　）付近に良く現れる．

1. (a) 平坦部分，(b) 側面部分，(c) 長い，(d) 原子ステップ
2. (a) 傾斜部分，(b) 上面部分，(c) 短い，(d) テラス
3. (a) 平坦部分，(b) 上面部分，(c) 長い，(d) 原子ステップ
4. (a) 傾斜部分，(b) 側面部分，(c) 短い，(d) テラス
5. (a) 平坦部分，(b) 側面部分，(c) 短い，(d) 原子ステップ

問２０７　走査プローブ顕微鏡法（SPM）に関する以下の文章中の (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．

SPM による画像は，通常，数秒から数 10 秒の時間をかけて（　a　）により試料上で探針を走査して得られる．その際，試料と探針の相対的な位置関係はサブオングストローム程度の非常に高い精度で制御され，試料の特定位置の物性情報を取り出すことができる基礎となる．しかし，加熱された試料が徐々に冷えていく際など，試料を含めた SPM 測定系の温度が徐々に変化している状況では，各所が異なる（　b　）や温度分布を持つために，試料と探針との相対位置がゆっくりと一方向にずれていく現象が起こり測定誤差を生む．これを熱ドリフトという．こうして得られたデータでは，例えば，試料上に描かれた仮想的な円が SPM 画像上で楕円になるなど歪んでしまう．歪みは，ドリフトが大きいほど，同時間測定においては測定範囲が（　c　）ほど，そして走査速度が（　d　）ほど，大きくなる．

1. (a) 光学的手法，(b) 弾性定数，　(c) 狭い，(d) 遅い
2. (a) ピエゾ素子，(b) 熱膨張係数，(c) 狭い，(d) 遅い
3. (a) 光学的手法，(b) 弾性定数，　(c) 広い，(d) 速い
4. (a) ピエゾ素子，(b) 弾性定数，　(c) 広い，(d) 速い
5. (a) ピエゾ素子，(b) 熱膨張係数，(c) 広い，(d) 速い

問２０８　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 同位体の分析が可能である．
(b) 非破壊分析が可能である．
(c) 深さ方向分析が可能である．
(d) 定量分析のためには，通常，イオン注入試料が用いられる．
(e) 標準試料なしで，主成分の定量分析が出来る．

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

問２０９　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 水素をはじめ全元素の分析が可能である．
(b) ppb～ppm レベルでの高感度分析ができる．
(c) 試料表面の凹凸によらず，元素の正確な面内分布が得られる．
(d) サブ nm～数 nm の深さ分解能で，深さ方向分析ができる．
(e) Si 基板のイオン注入試料があれば，SiO_2 中の不純物元素の定量分析ができる．

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

問２１０　⇒　欠番（削除）

問２１１　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 一次イオンの衝突による反跳のため深さ分解能が悪くなることがある．
(b) 元素の感度係数は，分析対象元素の化学状態によって殆ど変化しない．
(c) 希ガス元素の分析は一般に困難である．
(d) 表面近傍では定量性の良い分析は難しい．
(e) 標準試料が無くても定量性の良い分析が可能である．

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

問２１２　ラザフォード後方散乱法（RBS）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) 照射イオンより軽い元素が分析出来る．
(b) 標準試料なしに組成の定量分析が出来る．
(c) 原理的に非破壊で深さ方向分析が出来る．
(d) 通常，真空を必要としない．
(e) 表面から μm程度の深さまで分析が可能である．

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

問２１３　ラザフォード後方散乱分光法（RBS）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) 標準試料を用いずに精度良く定量分析が出来る．
(b) 原理的に全ての元素の組成分析が出来る．
(c) イオンスパッタを併用しないで深さ方向分析が出来る．
(d) 分析室は超高真空を必要とする．
(e) 照射イオンのエネルギーによって分析できる深さは異なる．

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

問２１４　ラザフォード後方散乱法（RBS）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) 通常，多結晶試料では，結晶性や欠陥の評価が行えない．
(b) 絶縁物では，正確なスペクトルが測定できない場合もある．
(c) サブ nm の深さ分解能で表面から μm 程度の深さ方向元素分布の測定ができる．
(d) 標準試料を用いなければ組成の定量分析ができない．
(e) 試料の損傷が少なく，非破壊深さ方向分析ができる．

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

問２１５　ラザフォード後方散乱法（RBS）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) 同じエネルギーのイオンを使う場合，水素イオンの方がヘリウムイオンよりも深くまで分析できる．
(b) ラザフォード散乱断面積は原子番号の２乗に反比例する．
(c) 水素の分析は原理的に不可能である．
(d) 軽元素試料中に存在する重元素の分析は困難である．
(e) 通常の測定では深さ分解能は 10 nm 程度である．

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

問２１６　イオン散乱における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) 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．
(b) 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．
(c) 散乱断面積は散乱角が小さいほど大きい．
(d) 散乱断面積は散乱角が大きいほど大きい．
(e) 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．
(f) 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．

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

問２１７　中エネルギーイオン散乱法（MEIS）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) RBS（ラザフォード後方散乱法）に比べると定量性が非常に悪い．
(b) 分析の原理は RBS と同じであるがアナライザーが異なる．
(c) RBS よりも深さ分解能は良い．
(d) H イオンよりも He イオンを使う方が深さ分解能は良い．
(e) 原理的にすべての元素の分析が可能である．

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

問２１８　中エネルギーイオン散乱法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) 静電型アナライザーもしくは表面障壁型の半導体検出器が使われる．
(b) 静電型もしくは磁場型のアナライザーが使われる．
(c) 入射イオンには H 以外に，Ne や Ar イオンも使われる．
(d) 高エネルギーイオン散乱法よりも，深さ分解能が高い．
(e) 同一照射量では，高エネルギーイオン散乱法よりも試料の照射損傷が大きい．

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

問２１９　低エネルギーイオン散乱分光法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) 磁場型のアナライザーが使われる．
(b) 静電型の他に飛行時間型のアナライザーも使われる．
(c) 入射イオンには H や He イオンの他に Ne イオンなども使われる．
(d) 中エネルギーイオン散乱法よりも質量分解能が低い．
(e) 表面原子配列に関する情報が得られる．

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

問２２０　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 一般に，オージェ電子分光法（AES）よりも微量分析が可能である．
(b) 数 keV から数 100 keV のイオン（一次イオン）を試料に照射し，スパッタリングにより試料表面から発生したイオン（二次イオン）を検出する分析手法である．
(c) 水素を検出できる唯一の表面分析法である．
(d) 希ガス元素の分析は一般に困難である．
(e) 標準試料を使わない場合，定量性の良い分析は困難である．

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

問２２１　ダイナミック二次イオン質量分析法（dynamic-SIMS）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) 深さ方向分解能は一次イオンのエネルギーのみで決まる．

(b) スパッタ収率（atoms/ions）やスパッタ速度（nm/s）は一次イオンのエネルギーや入射角に強く依存する．

(c) 二次イオン化率は一次イオン種に強く依存する．

(d) 二次イオン強度（counts/s）は一次イオン電流量だけでなく一次イオンのエネルギーや入射角にも依存する．

(e) 最近の SIMS 分析では，一次イオンとして酸素イオンやセシウムイオンは用いられない．

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

問２２２　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 深さ方向分布の深さは，スパッタクレータの深さを実測した値を用いる場合が多い．

(b) 相対感度係数は測定対象不純物元素とマトリックス材料の構成元素の二次イオン強度の比から計算する．

(c) 相対感度係数は測定対象元素のみに依存し，その対象元素の化学状態（例えば酸化物と炭化物など）には依存しない．

(d) 相対感度係数は注入ドーズ量が既知のイオン注入試料を用いて評価することができる．

(e) スパッタクレータの深さは走査プローブ顕微鏡で測定することが多い．

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

問２２３　粒子励起 X 線分析(PIXE) 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) 通常，特性 X 線の測定には半導体検出器が用いられる．

(b) 通常，プローブには数 MeV のプロトンが用いられる．

(c) 電子線マイクロアナライザー（EPMA）に比べると感度が悪い．

(d) 通常，10 nm 程度の分解能で深さ方向分析が可能である．

(e) 数 10 μg 程度の試料でも分析が可能である．

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

問２２４　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 水素をはじめ全元素の分析が可能である．

(b) 走査型の SIMS では，収束した一次イオンビームを試料の分析エリアを含む x-y 方向に走査し，これと同期させて二次イオンを検出することで，元素の面内分布が得られる．

(c) 一般にスパッタリングによる二次イオン化率は 10～50%と非常に高いため，ppb～ppm レベルでの高感度分析ができる．

(d) 標準試料なしで，不純物元素の定量分析ができる．

(e) 一般に一次イオンの加速エネルギーを低くすることで，深さ方向の分解能は向上する．

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

問２２５　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 希ガス元素の分析は一般に困難である．

(b) スパッタ速度を遅くすればするほど深さ分解能は向上し，浅い領域の深さ方向分布を正確に測定することができる．

(c) SIMS の深さ方向分析を定量化するためには，同じ材料（マトリックス）の標準試料が必要である．

(d) 表面界面とその近傍では二次イオン化率やスパッタ収率が変化するが，元素の相対感度係数は，バルクでの値と変わらない．

(e) 装置の真空度により，特に大気成分元素の検出下限（バックグラウンド）は変動する．

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

問２２６　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 深さ方向分解能は一次イオンエネルギーに依存しない．

(b) スパッタ収率（atoms/ion）やスパッタ速度（nm/s）は一次イオンエネルギーや入射角に強く依存する．

(c) 二次イオン化率は一次イオン種に強く依存する．

(d) 二次イオン強度(counts/s)は一次イオン電流量だけでなく一次イオンエネルギーや入射角に依存する．

(e) 二次イオンの相対感度係数は，マトリックスが同じであれば，一次イオンの入射角を変えても変化しない．

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

問２２７　二次イオン質量分析法（SIMS）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) 濃度定量に用いられる相対感度係数は，測定対象不純物元素とマトリックス材料の構成元素の二次イオン強度の比から計算する．

(b) 相対感度係数は，注入ドーズ量が既知のイオン注入試料を用いて評価することができる．

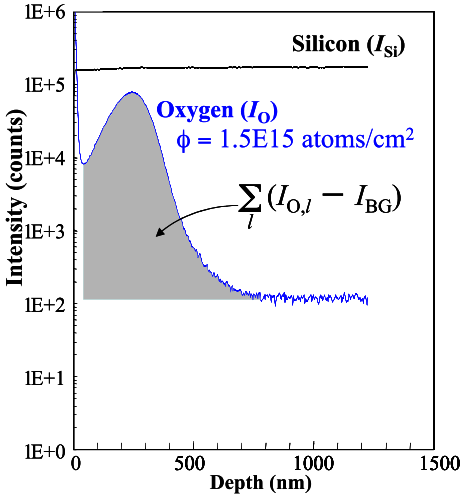
(c) 表面界面とその近傍では，二次イオン化率やスパッタ収率が変化するが，元素の相対感度係数は，バルクの値と変わらない．

(d) 相対感度係数は測定対象元素のみに依存し，その対象元素が含まれるマトリックス材料には依存しない．

(e) 多層構造試料の深さ校正を正しく行うには，それぞれの層のスパッタ速度を求めておく必要がある．

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

問２２８　右図はシリコンウェーハに酸素 ^{16}O をイオン注入して作製されたダイナミック二次イオン質量分析（D-SIMS）用標準試料の負二次イオン深さ方向分布である．イオン注入量は ϕ= 1.5×10^{15} atoms/ cm^2 であり，SIMS 測定サイクルはΔz =3.6 nm，酸素プロファイル強度の積分値（ただし最表面の自然酸化膜の寄与は除く）は$\Sigma(I_{O,l} - I_{BG})$ =3.87×10^6 counts，マトリックスである Si のイオン強度は I_{Si}=1.71×10^5 counts であった．これらの数値から算出される $^{16}O^-$の相対感度係数 k_O(atoms/cm^3) は，次のうちどれか．1～5 の番号で答えなさい．



1. 3.68×10^{19},　2. 1.84×10^{20},　3. 3.68×10^{20},　4. 1.84×10^{21},　5. 3.68×10^{21}

問２２９　スタティック二次イオン質量分析（S-SIMS）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) ダイナミック二次イオン質量分析（D-SIMS）よりも試料の照射損傷が少なく，分子イオンや大きなフラグメントが検出可能だが，これは S-SIMS の一次イオンのエネルギーが低いためである．

(b) 飛行時間型質量分析器（TOF）でのみ測定できる．

(c) 元素情報以外に，結晶構造の深さ方向分布が得られる．

(d) より重いイオンや，クラスターイオンを一次イオンとして用いることで，分子イオンや高質量のフラグメントイオンの二次イオン収率を向上できる．

(e) D-SIMS のような一次イオンによる化学的増感効果は得られにくい．

.

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

問２３０　飛行時間型二次イオン質量分析法（TOF-SIMS）に関する次の文章中の (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．

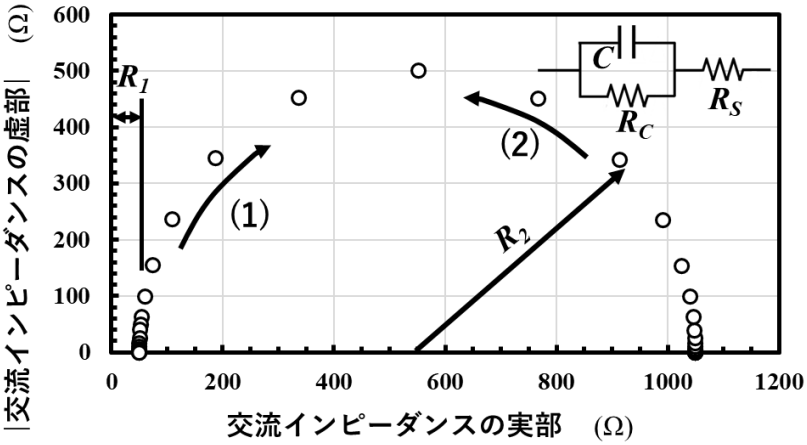
一次イオン 1 個を表面に衝撃した際，衝撃点を中心に損傷が広がるが，この損傷領域の大きさを（　a　）と呼ぶ．イオンを多数照射すると，損傷領域は増加するが，損傷領域の面積割合が 1%程度になるドーズ量を static limit と呼び，一般に約（　b　）ions/cm^2 である．例えば，100 μm × 100 μm の領域を，3.2 nA (at DC mode)の一次イオンビームで，パルス幅 20 ns，パルスレート 10 kHz で測定した場合，（　c　）程度の時間でドーズ量が 1%程度になる．ただし，電子の素電荷を 1.6×10^{-19} C とする．

1. (a) イオン化断面積，(b) 10^9～10^{10}，(c) 60 sec
2. (a) 損傷断面積，(b) 10^9～10^{10}，(c) 30 sec
3. (a) 損傷断面積，(b) 10^{12}～10^{13}，(c) 300 sec
4. (a) 損傷断面積，(b) 10^{12}～10^{13}，(c) 60 sec
5. (a) イオン化断面積，(b) 10^{14}～10^{15}，(c) 1 sec

---------- 新規追加(2025 年度春) ----------

問２３１　固液界面での電気化学反応に関する下の説明文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．

固液界面での電荷移動過程が律速する場合の電気化学反応において，周波数を変えながら数 mV の微小振幅の正弦波交流電圧を印加する場合を考える．その電流応答から複素インピーダンスを求めると右図の例のような，実数軸上の R_1+R_2 の位置を中心とする半径 R_2 の円弧上にプロットが得られ，その特性は挿入図のような等価回路で記述できる．ここでは固液界面の電荷移動抵抗を R_C，容量を C とする．また，溶液抵抗を R_S とした．



(a) 周波数を増加していくと測定点は(1)の矢印の方向に移動する．
(b) 周波数を増加していくと測定点は(2)の矢印の方向に移動する．
(c) R_1 が R_S，R_2 が R_C に対応する．
(d) R_2 が R_S，R_1 が R_C に対応する．
(e) R_1 が R_S，R_2 の 2 倍が R_C に対応する．
(f) R_2 の 2 倍が R_S，R_1 が R_C に対応する．
(g) このようにプロットをした図をナイキスト線図（Nyquist plot）とよぶ．
(h) このようにプロットをした図をボード線図（Bode plot）とよぶ．
(i) 交流インピーダンスの虚部の絶対値が最大となる周波数は $2\pi/(R_S \cdot C)$ であり，これから固液界面の容量 C が求められる．
(j) 交流インピーダンスの虚部の絶対値が最大となる周波数は $2\pi/(R_C \cdot C)$ であり，これから固液界面の容量 C が求められる．

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

問２３２　以下の説明文の複素インピーダンスの絶対値の周波数に対するプロットとして正しいものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

固液界面での電荷移動過程が律速する場合の電気化学反応においては，固液界面の電荷移動抵抗 $\boldsymbol{R}_C$ のほかに容量成分 $\boldsymbol{C}$ が存在する．溶液抵抗を $\boldsymbol{R}_S$ とすると，この固液界面の電気的特性は図１のような等価回路で記述できる．この固液界面の電荷移動抵抗 $\boldsymbol{R}_C$ を求めるため，数 mV の微小振幅の正弦波交流電圧 V を印加し，周波数 f を変えながら，電流 I の応答から複素インピーダンスの絶対値 $|Z| = |V/I|$ を求めた．

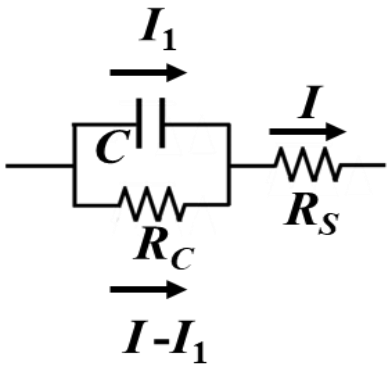
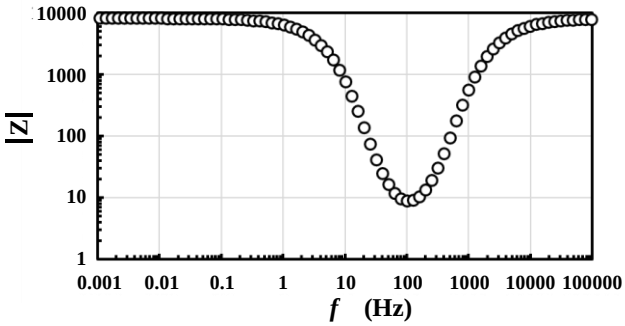
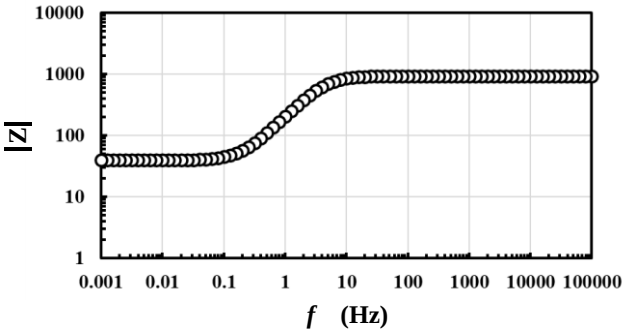


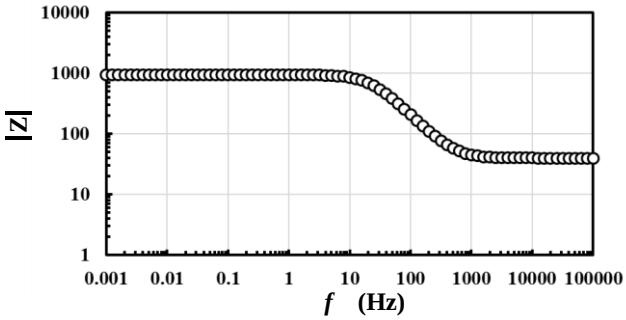
図 1.　電荷移動過程が律速となる場



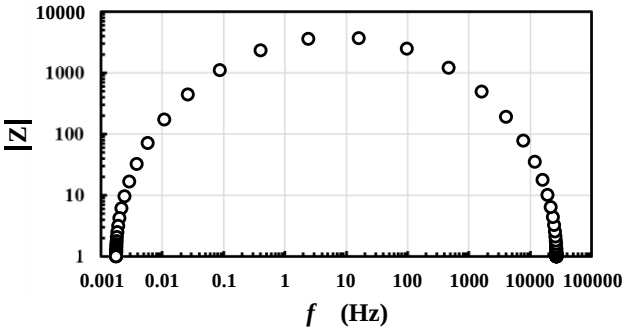
(1)



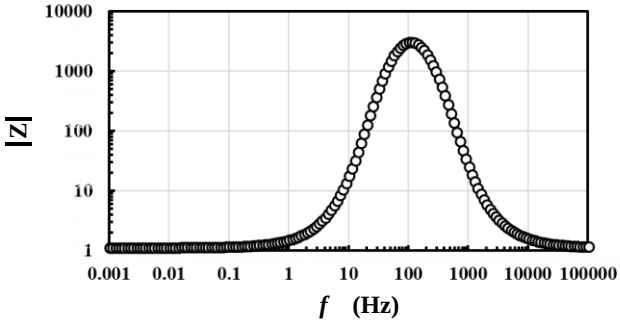
(2)



(3)



(4)



(5)

問２３３　以下の図２(1)～(3)の複素インピーダンスプロット（ナイキスト線図）について，もっとも当てはまる説明文(A)～(C)との組合せはどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．

図 1(a)に示すように無機固体電解質粉末を焼結した試料に，金電極（ブロッキング電極）をつけて，周波数を変えながら数 mV の微小振幅の正弦波交流電圧を印加し，その電流応答から複素インピーダンスを求めたところ，図 1 (b)に模式的に示すようなナイキスト線図が得られた．ついで，無機固体電解質や電極の種類を変えて同様の測定を行ったところ，図 2(1)～(3)に模式的に示すプロットが得られた．

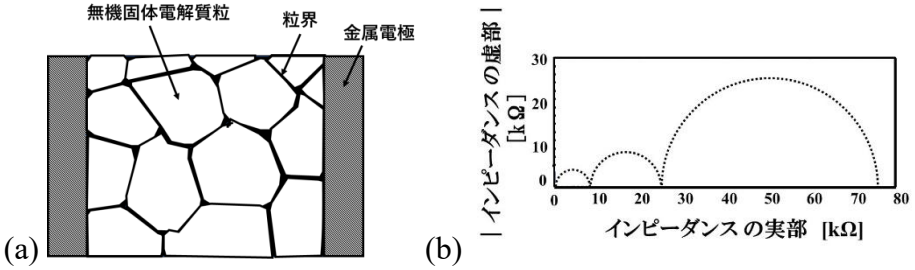


図 1．交流インピーダンス測定試料模式図．

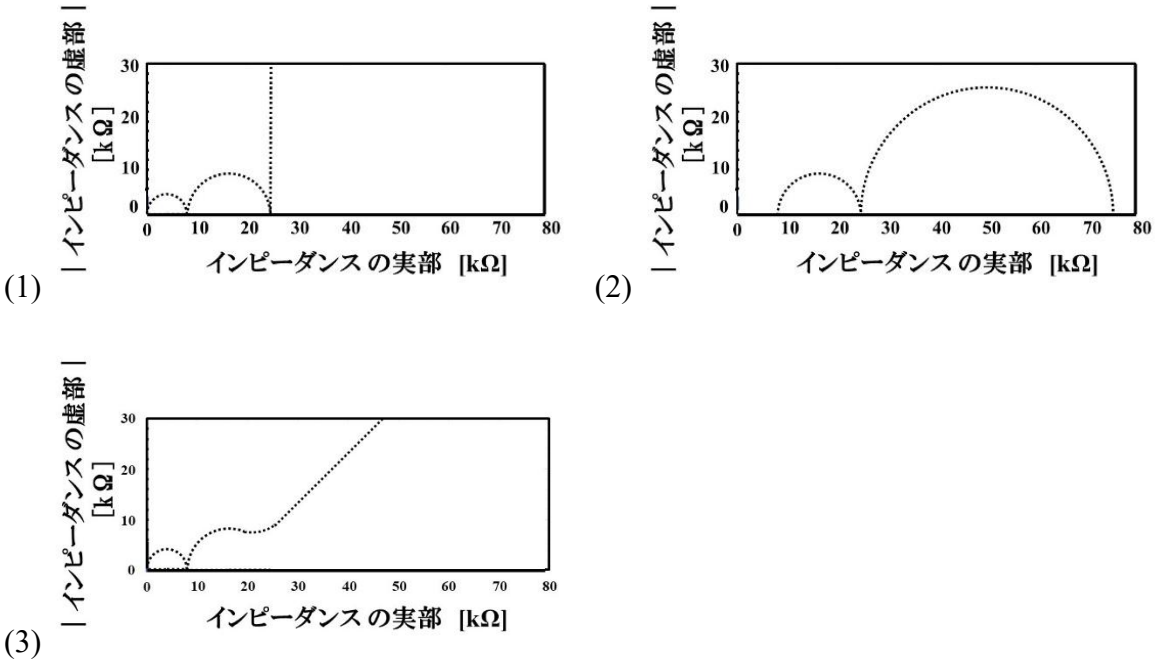


図 2．異なる無機固体電解質と電極を用いて測定した交流インピーダンスの測定結果．

説明文

(A) 無機固体電解質内の可動イオンと同種の元素を含む電極（ノンブロッキング電極）を用いた．

(B) 無機固体電解質のイオン導電性が非常に高い．

(C) 電極と無機固体電解質の間の電荷移動抵抗が非常に大きい．

	(1)	(2)	(3)
1.	(A)	(B)	(C)
2.	(B)	(C)	(A)
3.	(B)	(A)	(C)

4.　(C)　(A)　(B)
5.　(C)　(B)　(A)

問２３４　以下の説明文の交流インピーダンス法により得られた複素インピーダンスプロット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．

図 1 に模式的に示すように高いイオン伝導性と低い電子伝導性で特徴づけられる無機固体電解質粉末を焼結した試料に電極をつけ，周波数を変えながら数 mV の微小振幅の正弦波交流電圧を印加し，その電流応答から複素インピーダンスを求める．この系ではイオン伝導の妨げとなる抵抗としては，無機固体電解質粒内の bulk 抵抗（R_B），無機固体電解質粒界（grain boundary）の抵抗（R_{GB}），金属電極と無機固体電解質の間の電荷移動（charge transfer）抵抗（R_{CT}）が考えられる．交流に対する粒内，粒界，金属電極-固体電解質間の応答はそれぞれ緩和時間が異なり，それぞれに対応した容量成分としては，幾何学的容量（バルク容量，C_G: ~1 pF），粒界相容量（C_{GB}: ~1 nF），電気二重層容量（C_{DL}: ~1 μF）が考えられる．測定の結果，図 2 に示すような半径 R_1，R_2，R_3 の 3 個の円弧上に並んだ複素インピーダンスプロットが得られた．

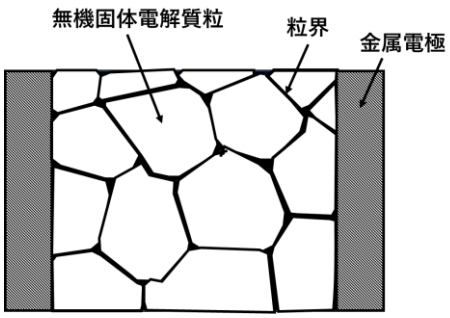


図 1．交流インピーダンス測定試料模式図．

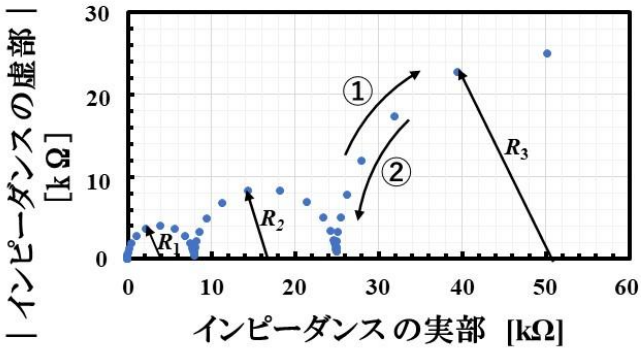


図 2．複素インピーダンスプロット．

(a) 周波数を増加していくと測定点は①の矢印の方向に移動する．
(b) 周波数を増加していくと測定点は②の矢印の方向に移動する．
(c) R_1 が R_B，R_2 が R_{GB}，R_3 が R_{CT} に対応する．
(d) R_1 が R_{CT}，R_2 が R_{GB}，R_3 が R_B に対応する．
(e) $2R_1$ が R_B，$2R_2$ が R_{GB}，$2R_3$ が R_{CT} に対応する．
(f) $2R_1$ が R_{CT}，$2R_2$ が R_{GB}，$2R_3$ が R_B に対応する．
(g) このようにプロットをした図をボード線図（Bode plot）とよぶ．
(h) このようにプロットをした図をナイキスト線図（Nyquist plot）とよぶ．
(i) 可動イオンは電極内へ取り込まれている．
(j) 可動イオンは電極内へは取り込まれていない．

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

問２３５　以下の説明文の交流インピーダンス法により得られた複素インピーダンスプロット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．

図 1 に模式的に示すように高いイオン伝導性と低い電子伝導性で特徴づけられる無機固体電解質粉末を焼結した試料に電極をつけ，周波数を変えながら数 mV の微小振幅の正弦波交流電圧を印加し，その電流応答から複素インピーダンスを求める．この系ではイオン伝導の妨げとなる抵抗としては，無機固体電解質粒内の bulk 抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathrm{B}}$），無機固体電解質粒界（grain boundary）の抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathrm{GB}}$），金属電極と無機固体電解質の間の電荷移動（charge transfer）抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathrm{CT}}$）が考えられる．交流に対する粒内，粒界，金属電極-固体電解質間の応答はそれぞれ緩和時間が異なり，それぞれに対応した容量成分としては，幾何学的容量（バルク容量，$\boldsymbol{C}_{\mathrm{G}}$: ~1 pF），粒界相容量（$\boldsymbol{C}_{\mathrm{GB}}$: ~1 nF），電気二重層容量（$\boldsymbol{C}_{\mathrm{DL}}$: ~1 μF）が考えられる．測定の結果，図２に示すような半径 $\boldsymbol{R}_1$，$\boldsymbol{R}_2$ の 2 個の円弧と，ほぼ垂直にスパイク状に立ち上がる直線上に並んだ複素インピーダンスプロットが得られた．

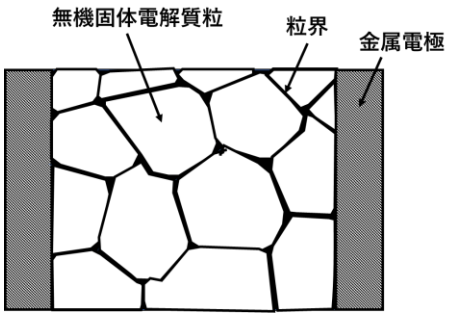


図 1．交流インピーダンス測定試料模式図．

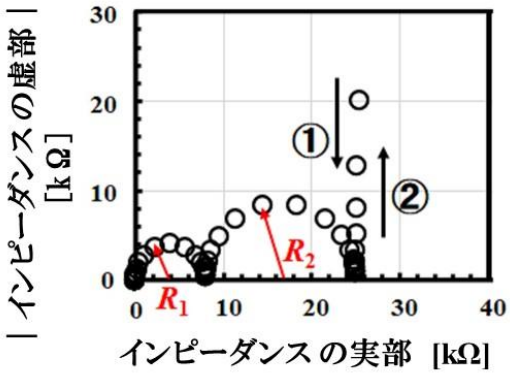


図 2．複素インピーダンスプロット．

(a) 周波数を増加していくと測定点は①の矢印の方向に移動する．
(b) 周波数を増加していくと測定点は②の矢印の方向に移動する．
(c) $\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{B}}$，$\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{GB}}$ に対応する．
(d) $\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{CT}}$，$\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{GB}}$ に対応する．
(e) $2\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{B}}$，$2\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{GB}}$ に対応する．
(f) $2\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{CT}}$，$2\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathrm{B}}$ に対応する．
(g) このようにプロットをした図をボード線図（Bode plot）とよぶ．
(h) このようにプロットをした図をナイキスト線図（Nyquist plot）とよぶ．
(i) $\boldsymbol{R}_{\mathrm{B}}$ が非常に大きく，直流電流はほとんど流れない．
(j) $\boldsymbol{R}_{\mathrm{CT}}$ が非常に大きく，直流電流はほとんど流れない．

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

問２３６　以下の説明文の交流インピーダンス法により得られた複素インピーダンスプロット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．

図 1 に模式的に示すように高いイオン伝導性と低い電子伝導性で特徴づけられる無機固体電解質粉末を焼結した試料に電極をつけ，周波数を変えながら数 mV の微小振幅の正弦波交流電圧を印加し，その電流応答から複素インピーダンスを求める．この系ではイオン伝導の妨げとなる抵抗としては，無機固体電解質粒内の bulk 抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$），無機固体電解質粒界（grain boundary）の抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$），金属電極と無機固体電解質の間の電荷移動（charge transfer）抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$）が考えられる．交流に対する粒内，粒界，金属電極-固体電解質間の応答はそれぞれ緩和時間が異なり，それぞれに対応した容量成分としては，幾何学的容量（バルク容量，$\boldsymbol{C}_{\mathbf{G}}$: <1 pF），粒界相容量（$\boldsymbol{C}_{\mathbf{GB}}$: ~1 nF），電気二重層容量（$\boldsymbol{C}_{\mathbf{DL}}$: ~1 μF）が考えられる．測定の結果，図２に示すように横軸の位置 $\boldsymbol{R}_1$ から始まる半径 $\boldsymbol{R}_2$，$\boldsymbol{R}_3$ の 2 個の円弧上に並んだ複素インピーダンスプロットが得られた．

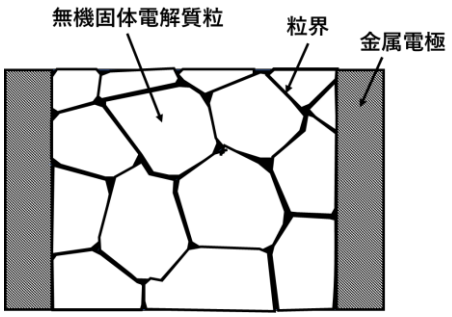


図 1．交流インピーダンス測定試料模式図．

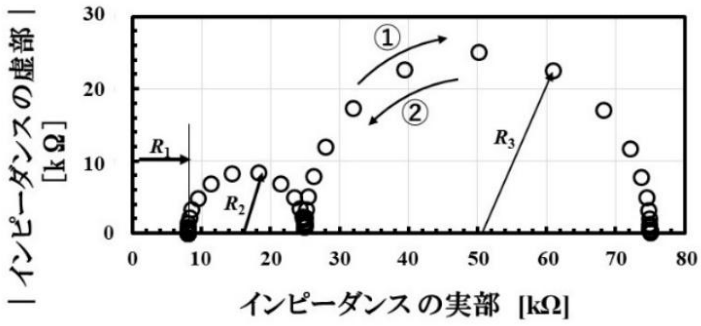


図 2．複素インピーダンスプロット．

(a) 周波数を増加していくと測定点は①の矢印の方向に移動する．
(b) 周波数を増加していくと測定点は②の矢印の方向に移動する．
(c) $\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$，$\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$ に対応する．
(d) $\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$，$\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$ に対応する．
(e) $2\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$，$2\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$ に対応する．
(f) $\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$，$2\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$2\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$ に対応する．
(g) このようにプロットをした図をボード線図（Bode plot）とよぶ．
(h) このようにプロットをした図をナイキスト線図（Nyquist plot）とよぶ．
(i) 粒内の可動イオンの移動が速く印加電圧の変化に対する遅れが殆んどない．
(j) 粒内の可動イオンの移動が遅く印加電圧の変化に対する遅れが殆んどない．

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

問２３７　以下の説明文の交流インピーダンス法により得られた複素インピーダンスプロット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．

図 1 に模式的に示すように高いイオン伝導性と低い電子伝導性で特徴づけられる無機固体電解質粉末を焼結した試料に電極をつけ，周波数を変えながら数 mV の微小振幅の正弦波交流電圧を印加し，その電流応答から複素インピーダンスを求める．この系ではイオン伝導の妨げとなる抵抗としては，無機固体電解質粒内の bulk 抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$），無機固体電解質粒界（grain boundary）の抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$），金属電極と無機固体電解質の間の電荷移動（charge transfer）抵抗（$\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$）が考えられる．交流に対する粒内，粒界，金属電極-固体電解質間の応答はそれぞれ緩和時間が異なり，それぞれに対応した容量成分としては，幾何学的容量（バルク容量，$\boldsymbol{C}_{\mathbf{G}}$: ~1 pF），粒界相容量（$\boldsymbol{C}_{\mathbf{GB}}$: ~1 nF），電気二重層容量（$\boldsymbol{C}_{\mathbf{DL}}$: ~1 μF）が考えられる．図２に示すように横軸の**半径** $\boldsymbol{R}_1$，$\boldsymbol{R}_2$，$\boldsymbol{R}_3$ の 3 個の円弧，ならびに傾き 1 の直線をつなぐように並んだ複素インピーダンスプロットが得られた．

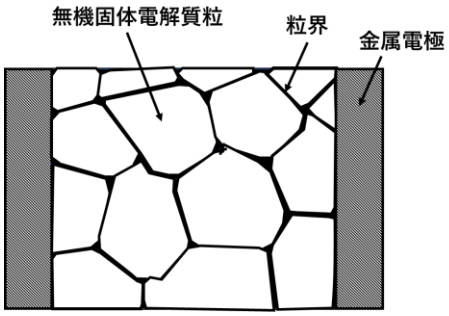


図 1．交流インピーダンス測定試料模式図．

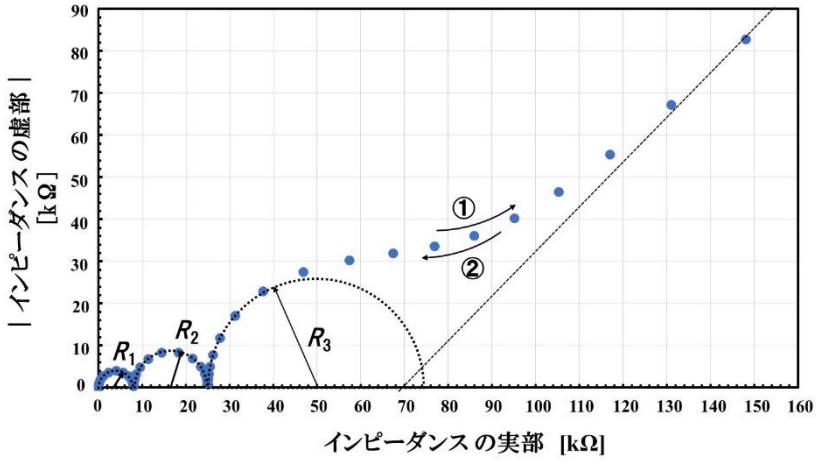


図 2．複素インピーダンスプロット．

(a) 周波数を増加していくと測定点は①の矢印の方向に移動する．
(b) 周波数を増加していくと測定点は②の矢印の方向に移動する．
(c) $\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$，$\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$ に対応する．
(d) $\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$，$\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$ に対応する．
(e) $2\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$，$2\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$2\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$ に対応する．
(f) $2\boldsymbol{R}_1$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{CT}}$，$2\boldsymbol{R}_2$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{GB}}$，$2\boldsymbol{R}_3$ が $\boldsymbol{R}_{\mathbf{B}}$ に対応する．
(g) このようにプロットをした図をボード線図（Bode plot）とよぶ．
(h) このようにプロットをした図をナイキスト線図（Nyquist plot）とよぶ．
(i) 電極反応が拡散律速になっている．
(j) 可動イオンを遮断する電極（ブロッキング電極）を用いている．

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

問２３８　走査透過電子顕微鏡(STEM)の結像法について，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) HAADF 法は高角散乱された電子を環状検出器で検出して結像する．

(b) HAADF 法は低角散乱された電子を明視野検出器で検出して結像する．

(c) ABF 法は高角散乱された電子を明視野検出器で検出して結像する．

(d) ABF 法は低角に透過散乱された電子を環状検出器で検出して結像する．

(e) STEM は検出器を複数導入することにより，異なる像の同時取得が可能である．

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

問２３９　走査透過電子顕微鏡（STEM）の結像法の特徴について，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) HAADF 像はコントラストが構成原子の原子番号に依存しない．

(b) HAADF 像はフォーカスや試料厚さの変化によって敏感に像コントラストが反転する．

(c) ABF 法は最適な観察条件において原子位置がバックグラウンドに対して暗いコントラストで結像される．

(d) ABF 法は，Li や H などの超軽元素原子観察も可能である．

(e) どの STEM 像のコントラストもフォーカス依存性が小さい．

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

問２４０　透過電子顕微鏡（TEM）の収差補正について，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) 主に画像処理によって行われている．

(b) 主にハードウェアによって行われている．

(c) ロンチグラムが用いられる．

(d) 主に対物レンズの負の球面収差を補正する．

(e) 収差補正によって，0.05 nm 以下の空間分解能が実現している．

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

問２４１　放射光は赤外から硬 X 線まで幅広い波長領域の電磁波を利用することができる優れた光源であり，多くの表面解析手法に用いられている．放射光を主として用いる手法だけをすべて含む組合せはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 電子エネルギー損失分光，共鳴光電子分光，赤外反射吸収分光，X 線吸収微細構造

2. 表面増強ラマン分光，共鳴非弾性 X 線散乱，和周波発生法，紫外光電子分光
3. X 線磁気円二色性，共鳴光電子分光，X 線吸収微細構造，共鳴非弾性 X 線散乱
4. 角度分解光電子分光，逆光電子分光，斜入射 X 線回折，X 線反射率
5. 光電子顕微鏡，X 線定在波法，低速電子回折，X 線光電子回折

問２４２　X 線吸収微細構造解析（XAFS）の測定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．

XAFS の測定を固体表面に適用する場合の測定法として（　a　）法と（　b　）法があるが，前者はさらに（　c　）法と（　d　）法と（　e　）法に分類される．（　b　）法は主に硫黄より原子番号が大きな元素の測定に用いられる．（　c　）法は（　a　）法の中で最も表面鈍感であるが簡便に測定ができるのでよく用いられる．（　d　）法と（　e　）法は検出する対象が似ているが，（　e　）法は電子エネルギー分析器で測定するので正確なスペクトルが測定できる反面，時間を要する．

1. (a) 電子収量，(b) 透過，(c) 部分電子収量，(d) オージェ電子収量，(e) 全電子収量
2. (a) 電子収量，(b) 蛍光収量，(c) 全電子収量，(d) 部分電子収量，(e) オージェ電子収量
3. (a) 蛍光収量，(b) 透過，(c) オージェ電子収量，(d) 全電子収量，(e) 部分電子収量
4. (a) 電子収量，(b)蛍光収量，(c) 部分電子収量，(d) 全電子収量，(e) オージェ電子収量
5. (a) 蛍光収量，(b) 透過，(c) オージェ電子収量，(d) 部分電子収量，(e) 全電子収量

問２４３　ある吸着分子の遷移モーメントの方向を測定しようと X 線の入射角を変えて吸収端近傍 X 線吸収微細構造（NEXAFS）を測定したところ，表面垂直からの電場ベクトルの角度 θ が 90°のときと 30°のときのこの遷移モーメントによる遷移強度の強度比 $I(90°)/I(30°)$は 0.50 だった．このとき，遷移モーメントの表面垂直からの角度 α の $\cos^2\alpha$ の値はどれか．下の 1～5 の番号で答えなさい．ただし偏光度は 100%とし，遷移強度は次のように角度に依存するものとする．

$$I \propto \left[1+\frac{1}{2}\left(3\cos^2\theta-1\right)\cdot\left(3\cos^2\alpha-1\right)\right]$$

1. 0.671,　2. 0.538,　3. 0.128,　4. 0.059,　5. 0.011

問２４４　基板上に積層した薄膜の厚み $\boldsymbol{d}$ を XPS で見積もる際には下記の式がよく使われる．

$$d = \lambda_{\mathrm{f}} \sin\theta \times \ln\left(\frac{\sigma_{\mathrm{S}} n_{\mathrm{S}} \lambda_{\mathrm{S}} I_{\mathrm{f}}}{\sigma_{\mathrm{f}} n_{\mathrm{f}} \lambda_{\mathrm{f}} I_{\mathrm{S}}} + 1\right)$$

この式の中のパラメータは，$\boldsymbol{\lambda}$：非弾性平均自由行程，$\boldsymbol{\theta}$：光電子放出角，$\boldsymbol{\sigma}$：光イオン化断面積，$\boldsymbol{n}$：密度，$\boldsymbol{I}$：XPS 強度とし，添え字の $\boldsymbol{s}$ は基板，$\boldsymbol{f}$ は膜を意味する．放射光によってX線のエネルギーを高くしたときに値が減少するものの組合せはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. $\boldsymbol{\lambda_s}$ と $\boldsymbol{\sigma_s}$,　2. $\boldsymbol{\lambda_f}$ と $\boldsymbol{\sigma_f}$,　3. $\boldsymbol{\lambda_s}$ と $\boldsymbol{\sigma_f}$,　4. $\boldsymbol{\sigma_f}$ と $\boldsymbol{I_f/I_s}$,　5. $\boldsymbol{\sigma_s}$ と $\boldsymbol{I_s/I_f}$,

問２４５　放射光 X 線の波長を掃引することによって可能になる表面構造解析手法が幾つかある．放射光表面構造解析手法とそれから分かる構造情報の組合せとして正しくないものはどれか．1～5 の番号で答えなさい．

1. 斜入射 X 線回折（GIXRD）⇒　表面単位格子内の原子の 3 次元構造
2. 吸収端近傍 X 線吸収微細構造（NEXAFS）⇒　吸着分子の配向性
3. X 線光電子回折（XPD）⇒　X 線吸収原子の周りの局所構造
4. 偏光全反射蛍光 X 線吸収微細構造（PTRF XAFS）⇒　吸着種の 3 次元構造
5. X 線定在波法（XSW）⇒　表面垂直方向の電子密度分布

問２４６　スタティック二次イオン質量分析法（static-SIMS）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) static-SIMS はダイナミック二次イオン質量分析法(dynamic-SIMS)よりも試料の損傷が少なく，分子イオンや大きなフラグメントを検出可能である．これは static-SIMS のほうが一次イオンの照射量が少ないからである．

(b) 一次イオンとして，static-SIMS では液体金属イオン源が広く利用されている．そのため，一次イオンビームを細束化できるため，サブ μm の空間分解能でのイメージングが可能である．

(c) 一次イオンのパルス幅を短くすることにより，空間分解能を向上させることができる．

(d) 一次イオンには正イオンを用いることが多いが，絶縁物の試料表面は負に帯電する．

(e) クラスターイオンは 1 原子当たりのエネルギーが単原子イオンに比べて小さいことから，試料の損傷を低減することができる．また，スパッタレートは単原子イオンに比べて速い．

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

問２４７　スタティック二次イオン質量分析法（static-SIMS）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) 一次イオンをパルスで照射する点が dynamic-SIMS と異なる．

(b) 固体表面の原子密度 10^{15} atoms/cm^2 に対して，スタティックリミットの目安は一般に 10^{12} ions/cm^2 であるが，一次イオンに単原子イオンを用いることで上限を引き上げた測定が可能である．

(c) 透過率の高い飛行時間型質量分析計が一般に用いられる．

(d) パルスの後方のイオンほど加速させて（バンチング機能），パルス幅を圧縮させることにより，空間分解能が向上する．

(e) 飛行時間型質量分析計の場合，全ての一次イオンパルスに対して全質量数のピークを検出できるため，事前に着目していた成分のほかにも測定後に解析することが可能である．

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