

問1 半導体表面に関する次の文章の(a)~(e)に挿入するのに適当な語句の組み合わせを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ため、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 μ m (b) 絶縁性 (c) 蒸着 (d) 分析装置
2. (a) 1 μ m (b) 絶縁性 (c) 吸着 (d) 分析装置
3. (a) 1 μ m (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)について正しい文章の組み合わせはどれか、1から5の番号で答えなさい。

- (a) SEMの装置は大きく鏡体部(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。
- (b) 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。
- (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台の超真空に保つ必要がある。
- (e) 像制御系には鏡体制御用の諸電源、走査制御用電源、二次電子検出用電源、観察用CRT、撮影用CRTが含まれる。

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

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正しい記述の組み合わせはどれか、1~5の番号で答えなさい。

- (a) 入射電子はエネルギーを失いながら物質中に数十nmまで侵入して停止する。
- (b) 反射電子は主に表面近くの原子により散乱された入射電子から成っている。
- (c) 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、入射電子に比べて低エネルギーであるため検出時に電界により検出器に集めることが行われる。

(d) 表面から数 μm 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。

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

問 4 走査電子顕微鏡(SEM)に関する次の記述のうち正しいものの組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 二次電子放出率は入射電子線の加速電圧で数百 V～1kV で最大である。
- (b) 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。
- (c) 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で決まる。このうち非点収差は装置の操作時に補正可能である。
- (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) 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、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。

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

問 5 電子線マイクロアナライザー (EPMA) について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 元素の定量分析が可能である。
- (c) 元素の定量分析は不可能である。
- (d) 測定に利用される X 線は特性 X 線である。
- (e) 数ナノメートル領域の組成分析が可能である。

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

問 6 電子線マイクロアナライザー (EPMA) について正しい記述の組み合わせはどれか、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常に単調に増加

するため、発生する 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 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) (c)のみ、 2. (a) (b) (d)、 3. (b) (d)のみ、 4. (a) (c) (d)、 5. (b) (c) (d)

問7 電子線マイクロアナライザー (EPMA) について正しい記述の組み合わせはどれか、1-5 の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 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。
- (c) 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。
- (d) 発生する X 線の波長が原子の結合状態によってわずかに変化するため、状態分析にも利用される。
- (e) 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。さらに、X 線発生領域が深くなって、X 線が表面から脱出するまでに吸収されるため、検出される X 線強度が弱くなることがある。

1. (a) (b) (c)、 2. (b) (c) (d)、 3. (b) (c) (e)、 4. (a) (c) (d)、 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の組み合わせはどれか、1-5 の番号で答えなさい。

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

- (a)電子線マイクロアナライザー (b)電子エネルギー損失分光法 (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) (g)He 原子線回折

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、最も適切なものを 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 1 0 透過電子顕微鏡には、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正しい記述の組み合わせはつぎのどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (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) 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。
- (d) 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。
- (e) 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。

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

問 1 1 電子顕微鏡についての適切な記述の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 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。
- (c) 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。
- (d) 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。
- (e) 磁気レンズでは像の回転はない。
- (f) 磁気レンズでは像は回転する。

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

問 1 2 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最も必要とされる条件の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 投影レンズの収差を小さくする必要がある。
- (b) 対物レンズの収差を小さくする必要がある。
- (c) 電子銃に用いる電子源の面積を小さくする必要がある。
- (d) 集束レンズの収差を小さくする必要がある。

(e) 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必要がある。

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

問 1 3 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正しい解答の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 回折図形は物体の 0 倍の像である。
- (b) 回折図形は物体の倍率無限大の像である。
- (c) 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。
- (d) 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。
- (e) 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。

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

問 1 4 通常の電子顕微鏡の制限視野回折について以下の解答の組み合わせのうち正しいものはどれか、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. (b) (d) (f)、 4. (b) (c) (f)、 5. (a) (d) (f)

問 1 5 走査透過電子顕微鏡について、正しい解答の組み合わせを1から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）の収差には依らない。
- (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する。
- (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しない。
- (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) (d) (e)、 3. (b) (c) (e)、 4. (b) (c) (f)、 5. (a) (d) (f)

問 1 6 透過電子顕微鏡の対物レンズの収差について正しい記述の組み合わせはどれか、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) 絞りの汚れはどんな収差の原因にもならない。
- (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 1 7 次の文章中の(a)～(f)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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。

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

問 1 8 金属試料を透過電子顕微鏡観察するとき電子照射損傷を少なくするために有効な方法に関する正しい記述の組み合わせはどれか、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を用いる。

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

問 1 9 透過電子顕微鏡に設置されたエネルギー分散型 X 線分光装置 (EDS) について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 定量分析において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をドーピングした半導体検出器では、検出器の冷却が必要である。
- (d) 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 2 0 透過電子顕微鏡を用いた結晶材料の電子回折について正しい記述の組み合わせはどれか、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 2 1 電子エネルギー損失分光法 (EELS) について正しい記述の組み合わせはどれか、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組成分析が出来る。
- (d) 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。
- (e) 原理的に結晶表面の分子振動を測定できない。

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

問 2 2 反射電子エネルギー損失分光法(EELS)について正しい組み合わせはどれか、1から5の番号で答えなさい。

- (a) 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、吸着電子の準位など最表面の電子構造を知ることができる。
- (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十 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) 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。

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

問 2 3 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つぎのどの組み合わせか、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 2 4 走査トンネル顕微鏡 (STM) について正しい記述の組み合わせはどれか、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. (c) (d) (e)、 4. (a) (d) (e)、 5. (b) (d) (e)

問 2 5 原子間力顕微鏡 (AFM) について正しい記述の組み合わせはどれか、1~5 の番号で答えなさい。

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

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

問 2 6 表面分析に関する次の説明文の(a)~(e)に挿入するのに適当な語句の組み合わせを 1~5 の中から選びなさい。

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、空气中、真空中、(e) 等での測定が可能である。

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

問 2 7 走査トンネル顕微鏡(STM)について正しい記述の組み合わせはどれか、1 から 5 の番号で答えなさい。

- (a) 超高真空中、空气中、液体中、超低温、室温、高温で正常に動作するため、試料に適した環境のもとで観察できる。
- (b) 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。
- (c) 凹凸情報と共に分光情報も得られる表面構造解析・分析装置である。
- (d) 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。
- (e) ユニットは非常に大型、高価であり、他の表面分析手法との複合化が難しい。

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

問 2 8 次の文章中の(a)~(e)に入る語句の最も適切な組み合わせをつぎの 1~5 から選びなさい。

原子間力顕微鏡 (AFM) のカンチレバーは、(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。

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	ガラス、	ガラス、	ダイヤモンド、	PtIr、	導電性

2. シリコンウェハー、シリコン、 ガラス、 水晶、 熱伝導
3. 水晶、 水晶、 窒化ガリウム、 磁性薄膜、磁気力
4. シリコンウェハー、シリコン、シリコンナイトライド、水晶、 熱伝導
5. シリコンウェハー、シリコン、シリコンナイトライド、磁性薄膜、 磁気力

問 29 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

深い溝のような構造を原子間力顕微鏡 (AFM) で測定する場合は、アスペクト比の (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を使用する。

- | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|--------|-------------|------|------|-------|
| 1. 高い、 | カーボンナノチューブ、 | 微弱な、 | 長距離、 | 数 nm |
| 2. 低い、 | 金属膜、 | 強い、 | 短距離、 | 数十 nm |
| 3. 低い、 | 金薄膜、 | 強い、 | 長距離、 | 数 nm |
| 4. 高い、 | カーボンナノチューブ、 | 微弱な、 | 短距離、 | 数十 nm |
| 5. 低い、 | カーボンナノチューブ、 | 微弱な、 | 短距離、 | 数 nm |

問 30 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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) 準位に電子が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。したがって、一般に、トンネル電流には、電極間の垂直距離 Z 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 ϕ 、電子のフェルミ分布関数の情報等も入っている。

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

問3 1 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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力を測定している。相互作用力には、(a)やイオン結合力のような(b)に寄与する短距離力と静電気力や(c)や(d)のような原子分解能には寄与しない(e)がある。

- | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|-----------------|--------|--------|-------------|------|
| 1. 共有結合力、原子分解能、 | | 磁気力、 | ファンデルワールス力、 | 長距離力 |
| 2. 磁気力、 | 空間分解能、 | 共有結合力、 | 金属結合力、 | 力 |
| 3. 共有結合力、空間分解能、 | | 共有結合力、 | 金属結合力、 | 摩擦力 |
| 4. 摩擦力、 | 原子分解能、 | 磁気力、 | 水素結合力、 | 長距離力 |
| 5. 凝着力、 | 高分解能、 | 摩擦力、 | ファンデルワールス力、 | 長距離力 |

問3 2 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

走査プローブ顕微鏡は、小さな(a)を試料表面に近づけて(b)して、表面の局所(c)に対する局所(d)を測定する(e)を使わない走査型の高分解能顕微鏡である。代表的なものには、走査トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡がある。

- | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|-----------|----------|-----|-----|-----|
| 1. プローブ、 | 走査、 | 刺激、 | 応答、 | レンズ |
| 2. プローブ、 | 操作、 | 応答、 | 刺激、 | 空気 |
| 3. センサー、 | 操作、 | 刺激、 | 応答、 | レンズ |
| 4. レンズ、 | 焦点を合わせて、 | 刺激、 | 応答、 | 空気 |
| 5. ピンホール、 | 走査、 | 刺激、 | 応答、 | 空気 |

問3 3 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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。

- | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|---------------|----------|-------------|------|-----|
| 1. 走査トンネル顕微鏡、 | 原子間力顕微鏡、 | 走査近接場光学顕微鏡、 | STM、 | AFM |
| 2. 光学顕微鏡、 | 電子顕微鏡、 | イオン顕微鏡、 | OM、 | EM |
| 3. 走査トンネル顕微鏡、 | 原子間力顕微鏡、 | 電子顕微鏡、 | OM、 | EM |
| 4. 光学顕微鏡、 | 電子顕微鏡、 | 走査近接場光学顕微鏡、 | STM、 | AFM |

5. 走査トンネル顕微鏡、電子顕微鏡、 原子間力顕微鏡、 OM、 AFM

問34 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

原子間力顕微鏡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、走査型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。

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

問35 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

原子操作には、走査トンネル顕微鏡を用いた (a) や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スライディング・モードと引力で原子をジャンプさせる (d) と (e) で原子をジャンプさせるプッシング・モードがある。探針を大振幅に振る原子間力顕微鏡を用いた力学的水平操作では原子を捕らえて引きずるスライディング・モードは起こせない。

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	電界蒸発、	振動励起、	引力、	プリング・モード、	斥力
2.	垂直原子操作、	振動分光、	斥力、	ジャンプ・モード、	探針
3.	電界蒸発、	振動励起、	引力、	ジャンプ・モード、	探針
4.	垂直原子操作、	振動分光、	斥力、	プリング・モード、	斥力
5.	電界蒸発、	振動分光、	斥力、	プリング・モード、	探針

問36 次の文章中の(a)～(d)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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。

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

問 3 7 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

磁気に関係する走査プローブ顕微鏡には、走査トンネル顕微鏡に基づいた (a)、(b)、原子間力顕微鏡に基づいた (c)、(d)、交換相互作用力顕微鏡、それらとは別種のセンサーを走査する走査 SQUID 顕微鏡、(e) や走査磁気抵抗効果顕微鏡などがある。

1. (a)スピン偏極 STM (b)電子スピン共鳴 STM (c)磁気力顕微鏡 (d)磁気共鳴力顕微鏡 (e)走査ホール効果顕微鏡
2. (a)STM (b)電子顕微鏡 (c)共焦点 STM (d)非弾性トンネル顕微鏡 (e)イオンコンダクタンス顕微鏡
3. (a)スピン偏極 STM (b)電子スピン共鳴 STM (c)磁気力顕微鏡 (d)非弾性トンネル顕微鏡 (e)イオンコンダクタンス顕微鏡
4. (a)STM (b)電子顕微鏡 (c)共焦点 STM (d)磁気共鳴力顕微鏡 (e)走査ホール効果顕微鏡
5. (a)AFM (b)電子スピン共鳴 STM (c)磁気力顕微鏡 (d)磁気共鳴力顕微鏡 (e)走査ホール効果顕微鏡

問 3 8 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

走査プローブ顕微鏡には、(a)、走査アトムプローブ顕微鏡、(b)、イオンコンダクタンス顕微鏡、(c)、走査ホール効果顕微鏡、走査磁気抵抗効果顕微鏡などの様々な顕微鏡が存在する。これらは、小さなプローブつまり (d) を試料表面に (e) 局所刺激に対する局所応答を測定する走査型プローブ顕微鏡の原理に基づいて開発された。

1. (a)走査キャパシタンス顕微鏡 (b)非線形誘電率顕微鏡 (c)走査 SQUID 顕微鏡 (d)センサー (e)近づけて
2. (a)走査電子顕微鏡 (b)走査光学顕微鏡 (c)原子間力顕微鏡 (d)突起 (e)遠ざけて
3. (a)走査電子顕微鏡 (b)走査光学顕微鏡 (c)走査 SQUID 顕微鏡 (d)センサー (e)近づけて
4. (a)走査キャパシタンス顕微鏡 (b)非線形誘電率顕微鏡 (c)原子間力顕微鏡 (d)突起 (e)遠ざけて
5. (a)走査キャパシタンス顕微鏡 (b)走査光学顕微鏡 (c)原子間力顕微鏡 (d)センサー (e)近づけて

問 3 9 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

走査型トンネル顕微鏡で半導体や金属を観察する場合、試料に正のトンネルバイアスを印加すると試料側の (a) が、負のトンネルバイアスを印加すると (b) がトンネル電流に寄与する。大きなバイアス電圧であると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。(ただし、LUMO(最低非占有分子軌道)、HOMO(最高占有分子軌道))

- | | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|----|----------|-------|-------|-------|------|
| 1. | 空準位、 | 占有準位、 | 伝導帯、 | 価電子帯、 | 表面準位 |
| 2. | 非占有分子軌道、 | 空準位、 | HOMO、 | LUMO、 | 状態密度 |
| 3. | 占有分子軌道、 | 占有準位、 | 伝導帯、 | 価電子帯、 | 表面準位 |
| 4. | 空準位、 | 空準位、 | HOMO、 | LUMO、 | 状態密度 |
| 5. | 価電子帯、 | 伝導帯、 | 空準位、 | 占有準位、 | 表面準位 |

問 4 0 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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) を印加すると試料側の (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。

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(最低非占有分子軌道)
(e)HOMO(最高占有分子軌道)
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(最低非占有分子軌道)
(e)HOMO(最高占有分子軌道)
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 4 1 オージェ電子分光法 (AES) について正しい記述の組み合わせはどれか、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জে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殻準位の軌道エネルギーである。
- (d) KLL オーজে電子の運動エネルギー E は近似的に $E = E_K - 2E_L - \phi$ である。ここで 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. (b) (c) (e)、 4. (a) (d) (f)、 5. (a) (d) (e)

問42 オージェ電子分光法(AES)について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 表面の1～10原子層程度(5 nm以下)の表面層を分析する。
- (b) 分析領域は、機種に依存するが小さい場合は数十 μm となる。
- (c) 数十nmの深さ分解能で μm オーダーの深さ方向分析ができる。
- (d) 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。
- (e) 検出できる濃度の限界は、0.1 at%程度である。

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

問43 次の表面分析法(A群)とその原理(B群)の中の正しい組み合わせをC群より1つ選んで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のエネルギーをもつ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依存性より、表面近傍の原子種の特異性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剥離/放出されたイオン化された原子を質量分析計で検出する方法。
- (c) X線吸収端の高エネルギー側の振動の図形解析から、局所的な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、回折された電子強度の

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依存性より、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。

C 群

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

問 4 4 オージェ電子分光法と X 線光電子分光法がなぜ表面分析に適しているかを述べたつぎの文章中の(a)～(d)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの 1～5 から選びなさい。

固体内部で励起された原子から発生したオージェ電子や(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、電子分光で解析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) 弾性散乱 (c) 数百原子層 (d) 失わずに
3. (a) 光電子 (b) 非弾性散乱 (c) 数原子層 (d) 失って
4. (a) X 線 (b) 弾性散乱 (c) 数百原子層 (d) 失わずに
5. (a) X 線 (b) 非弾性散乱 (c) 数百原子層 (d)失って

問 4 5 次の文章中の(a)～(c)に入る語句の最も適切な組み合わせをつぎの 1～5 から選びなさい。

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 線のエネルギーを Mg-K α (1253.6 eV)から Al-K α (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)。しかし通常の XPS スペクトルでは結合エネルギー表示であるためオージェ電子のピーク位置は、(c)。

1. (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
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)変化しない
3. (a)変化しない (b)変化しない (c)変化しない
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)高エネルギー側

にシフトする

問 4 6 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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有効と考えられており運動エネルギーが大きくなると、(c) の値は(e)。

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

問 4 7 X線光電子分光法 (XPS) について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 原理的に化学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) (c)、 2. (b) (c) (d)、 3. (c) (d) (e)、 4. (a) (c) (d)、 5. (a) (b) (d)

問 4 8 表面分析に関する次の説明文の(a)～(e)に挿入するのに適当な語句の組み合わせを1～5の中から選びなさい。

試料表面にエネルギー幅の狭い軟X線 (エネルギー： $h\nu$) 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。

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

問 4 9 X 線光電子分光法(XPS)について正しい記述の組み合わせはどれか、1 から 5 の番号で答えなさい。

- (a) 表面下数 nm 程度の表面層を分析する。
- (b) H を除くすべての元素の定性、定量分析ができる。
- (c) 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。
- (d) 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も可能である。
- (e) 検出限界は、0.1 at%程度である。

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

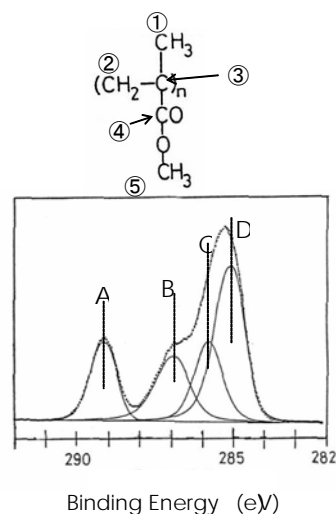
問 5 0 下記の測定法で仕事関数の絶対値を測定できるものはどれか、1-5 の番号で答えなさい。

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

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

問5 1 下図に、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、適切な組み合わせを 1~5 の番号で答えなさい。

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



問5 2 次の文章中の(a)、(b)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの 1~5 から選びなさい。

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)。

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

問5 3 次の文章中の(a)~(d)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの 1~5 から選びなさい。

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、分光器を通過す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)。

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

- 4. 円筒鏡型、一定、変わると、大きく変化する
- 5. 静電半球型、一定、変わっても、変化しない

問5 4 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み合わせを1～5の番号で答えなさい。

- 1. 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
- 2. 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：帯電する場合がある
- 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：帯電する場合がある
- 4. 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：帯電する場合がある
- 5. 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

問5 5 二次イオン質量分析法 (SIMS) について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) 全元素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標準試料が必要である。
- (e) 標準試料なしに定量分析が出来る。

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

問5 6 表面分析に関する次の説明文の(a)～(e)に挿入するのに適当な語句の組み合わせを1～5の中から選びなさい。

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

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

問 5 7 二次イオン質量分析法(SIMS)について正しい文章の組み合わせはどれか、1 から 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) 試料の高さ方向の位置を制御しながら試料を移動することによって元素の面内分布が得られる。
- (d) 数百 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。
- (e) 標準試料なしで、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 5 8 二次イオン質量分析法(SIMS)で用いられる飛行時間質量分析計について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) イオンの透過率が高く、高感度で高質量分解能測定ができる。
- (b) 全領域スペクトルが < 1 msec 程度で高速測定ができる。
- (c) 測定できる質量数に制限がある。
- (d) 精密質量測定ができる。
- (e) 質量のキャリブレーションが難しいのが欠点である。

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

問 5 9 二次イオン質量分析法 (SIMS) について正しい記述の組み合わせはどれか、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) 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。
- (c) RBS に比べて定量性の良い分析が可能である。
- (d) プローブ・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。

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

問 6 0 ラザフォード後方散乱分光法 (RBS) について正しい記述の組み合わせはどれか、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) 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) RBS の分析室は超高真空を必要とする。
- (e) 表面から μm 程度の深さまで分析が可能である。

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

問 6 1 ラザフォード後方散乱分光法 (RBS) について正しい記述の組み合わせはどれか、1~5 の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 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。
- (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) (d)、 3. (a) (c) (e)、 4. (b) (c) (e)、 5. (b) (d) (e)

問 6 2 ラザフォード後方散乱分光法 (RBS) について正しい記述の組み合わせはどれか、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 6 3 イオン散乱における散乱断面積に関する正しい記述の組み合わせどれか、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 6 4 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの 1～5 から選びなさい。

(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。

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

問 6 5 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの 1～5 から選びなさい。

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. | カイネティック因子、 | 微分散乱断面積、 | 阻止能、 | エネルギーストラグリング、 | 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. | カイネティック因子、 | 散乱強度、 | 散乱能、 | エネルギーストラグリング、 | 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. | カイネティック因子、 | 散乱強度、 | 阻止能、 | エネルギーストラグリング、 | チャネリング |

問 6 6 低エネルギーイオン散乱分光法 (ISS) について正しい記述の組み合わせはどれか、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 6 7 中エネルギーイオン散乱分光法 (MEIS) について正しい記述の組み合わせはどれか、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) 水素イオンよりも 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 6 8 中エネルギーイオン散乱分光法に関する正しい記述の組み合わせはどれか、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分光法よりも、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分光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 6 9 低エネルギーイオン散乱分光法に関する正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- 1. 表面障壁型の半導体検出器が使われる。
- 2. 静電型または飛行時間型のアナライザーが使われる。
- 3. 入射イオンには He や Ne イオンなどが使われる。
- 4. 高エネルギーイオン散乱分光法よりも定量精度が高い。

5. 表面原子配列に敏感である。

6. (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) について正しい記述の組み合わせはどれか、1-5 の番号で答えなさい。

(a) 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分光法 (RBS) よりも微量な元素の分析が可能である。

(b) 数百 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。

(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71 二次イオン質量分析法 (SIMS) について正しい記述の組み合わせはどれか、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/ions) やスパッタ率 (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) 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。

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

問72 次の文章中の(a)-(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1-5から選びなさい。

二次イオン質量分析 (SIMS) 装置 (ダイナミック SIMS 用) 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) 二重収束 (b) 低 (c) 四重極 (d) 低エネルギー (e) 高
5. (a) 四重極 (b) 低 (c) 二重収束 (d) 高エネルギー (e) 低

問 7 3 二次イオン質量分析法 (SIMS) について正しい記述の組み合わせはどれか、1-5 の番号で答えなさい。

- (a) SIMS 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) 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。
- (c) 相対感度係数は測定対象元素のみに依存し、その対象元素が含まれるマトリックス材料には依存しない。
- (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原子間力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 7 4 次の文章中の(a)-(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1-5から選びなさい。

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 7 5 粒子励起 X 線分析 (PIXE) について正しい記述の組み合わせはどれか、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) 通常の測定では深さ分解能は 10 nm 程度である。
- (e) 一般に試料は数 mg 程度あれば分析が可能である。

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

問 7 6 次の文章中の(a)～(c)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

電界イオン放出は、高電界がかかった針状金属試料表面で原子分子がイオン化し放出される現象である。この現象により、人類は初めて原子を観察した (E.W. Mueller による)。以下は、その実験に用いられた電界イオン顕微鏡の原理である。超高真空下で Ar や He などの結像ガスを 10^{-3} Pa 程度金属表面に暴露し、冷却した金属表面に(a)の高電界を印加する。高電界によって分極した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い、金属表面に吸着する。吸着した原子からは、トンネリングにより電子が金属側に移動するため、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、電界の集中するステップやキンクの部分で高くなっている。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結像することで、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) 負 (c) 正電圧を印加
- 2. (a) 交流 (b) 負 (c) 交流電圧を印加
- 3. (a) 負 (b) 正 (c) 接地
- 4. (a) 負 (b) 正 (c) 負電圧を印加
- 5. (a) 正 (b) 正 (c) 接地

問 7 7 下記の手法のうち、主に X 線の回折現象を用いた分析手法はどれか、1～5 の番号で答えなさい。

1. (a)のみ、 2. (b)、 3. (c)、 4. (d)、 5. (a)と(e)

- (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

問 7 8 電子回折法と比較して X 線回折法の特徴の正しい記述の組み合わせはつぎのどれか、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 $1 \mu\text{m}$ 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) (b) (d) (e)、 3. (a) (c) (e)、 4. (b) (d) (e)、 5. (a) (c) (d) (e)

問 7 9 薄膜の面内回折法に関する次の記述のうち正しいものの組み合わせはどれか、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) 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。
- (d) 入射角度を変えることで深さ方向分析が可能である。

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

問 8 0 多結晶体の X 線回折に伴うバックグラウンドについて正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) バックグラウンドの一つの原因は試料に含まれる原子による蛍光 X 線である。
- (c) 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。
- (d) CuK α 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。
- (e) バックグラウンドの原因の一つは結晶中の原子が熱振動しているためであり、CuK α 線による回折では、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。

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

問 8 1 結晶による X 線の回折ピークについて正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 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。
- (c) 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。
- (d) 回折ピークの半値幅は試料に含まれる結晶子の平均の大きさに比例する。

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

問 8 2 X 線反射率法に関する記述のうち正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 物質の表面または異なった物質の界面で X 線が反射されることが原因である。
- (b) 非破壊で多層膜の評価ができる。
- (c) 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。
- (d) 試料は結晶質の材料に限られる。
- (e) 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。

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

問 8 3 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、そのときに現れる正しい図形はどれか。 図 2 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。

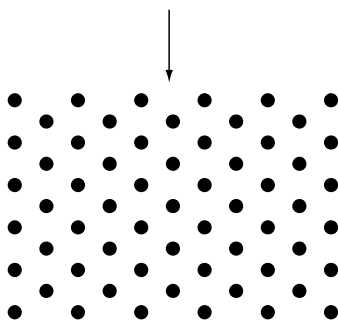
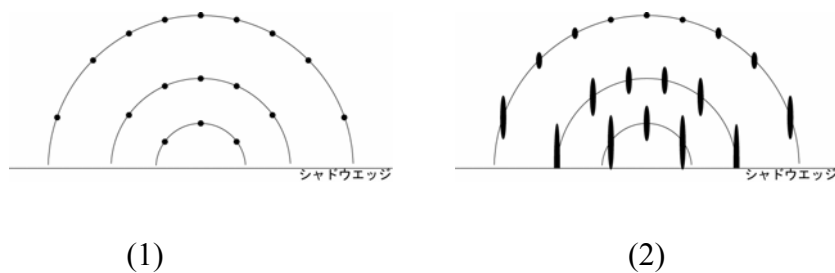


図 1 表面の原子配列 矢印は電子線の入射方向



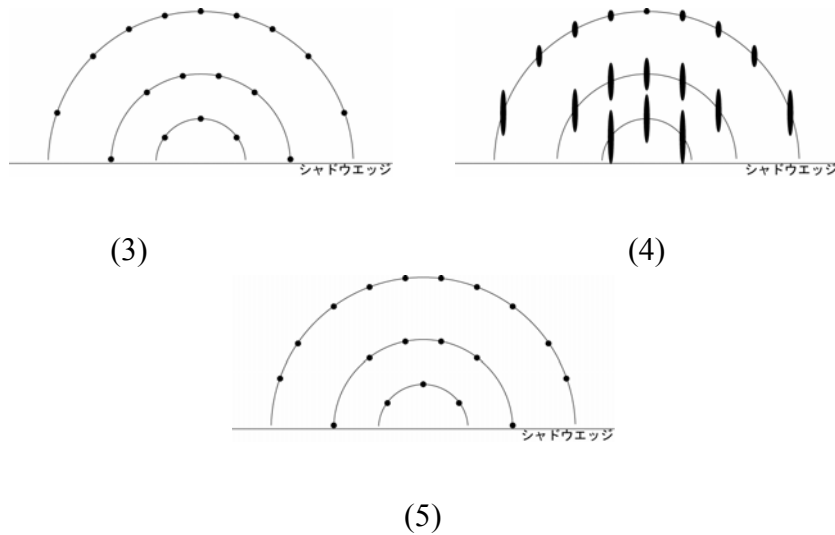


図2 RHEED 図形

問84 反射高速電子回折(RHEED) についての下記の記述のうち正しいものはどれか、1-5の番号で答えなさい。

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

- (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 で用いる数十 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。

問85 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。

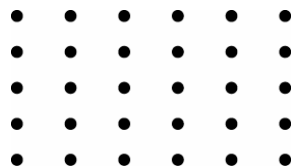
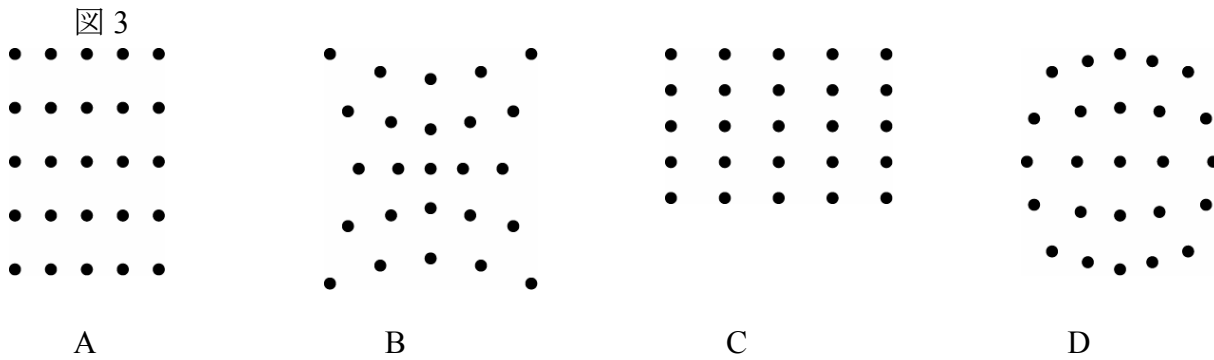
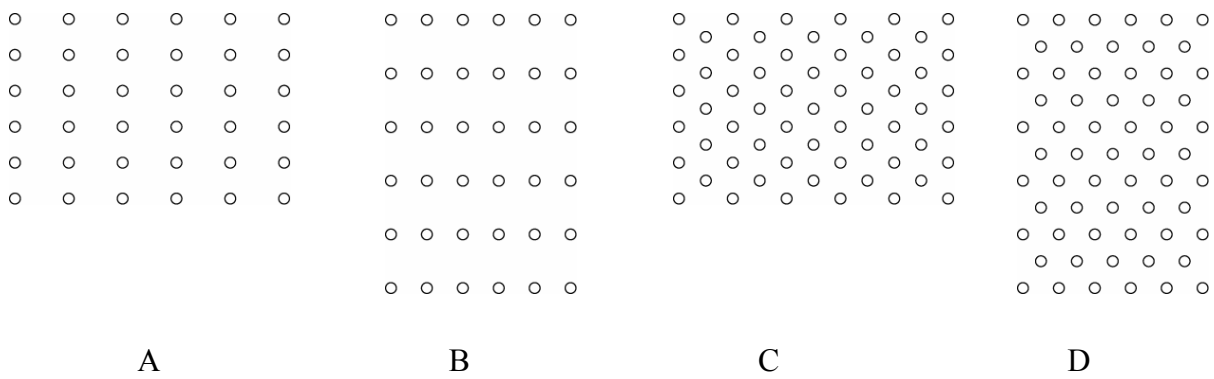


図1 表面の原子配列。

図2



上の文中の(a)~(d)の括弧内の解答の組に対して、正しいものをつぎの1~5の番号で答えなさい。

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

問 8 6 低速電子回折(LEED)についての下記の記述のうち正しいものはどれか、つぎの1~5の番号で答えなさい。

1. (a) (c) (d) (e) (f) (h)、 2. (a) (d) (e) (f)のみ、 3. (a) (b) (d) (e) (f)、
4. (a) (b) (e)のみ、 5. (a) (b) (d) (e) (h)

- (a) 数 100 eV 以下のエネルギーの入射電子を用いる。
- (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) 試料表面からの二次電子を検出する。
- (d) 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。
- (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ブロードになる。
- (g) 入射エネルギーを変えても、スポットの強度が変化するだけで、位置は変化しない。
- (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。

問 8 7 下記の手法のうち、主に He 原子線の回折現象を用いた分析手法はどれか、1～5 の番号で答えなさい。

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

- (a)イオン散乱分光法(ISS) (b)二次イオン質量分析法(SIMS) (c)三次元アトムプローブ(3DAP)
(d) He 原子線回折

問 8 8 表面分析に関する次の説明文の(a)～(e)に挿入するのに適当な語句の組み合わせを 1～5 の中から選びなさい。

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 ）を直接的に反映した情報を与える特徴をもっており、（ b ）スペクトル法とも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。化学結合の振動には、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、非対称な振動を非対称振動として（ e ）を帰属する。このほか、結合軸がねじれるひねり振動もある。

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

問 8 9 表面分析に関する次の説明文の(a)～(e)に挿入するのに適当な語句の組み合わせを 1～5 の中から選びなさい。

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。

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

問 9 0 赤外分光法について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 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。
- (c) 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。
- (d) 赤外拡散反射は、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。

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

問 9 1 赤外分光法について正しい記述の組み合わせはどれか、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 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 9 2 フーリエ変換赤外分光法(FTIR)について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 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。

- (c) 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。
- (d) 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、担持物質、粉体、プリズム等を用意する。
- (e) 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。

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

問 9 3 ラマン散乱分光法について正しい記述の組み合わせはどれか、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 9 4 ラマン散乱分光法について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) ラマン散乱分光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 9 5 エリプソメトリについて正しい記述の組み合わせはどれか、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 9 6 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

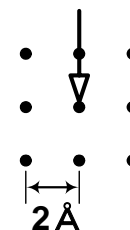
反射電子回折法には数 100 eV 以下の低速電子を用いる(a)と 10 keV 程度以上の高速電子を用いる(b)がある。低速電子回折(LEED)では主として(c)散乱電子に、反射高速電子回折(RHEED)では(d)散乱電子に注目する。いずれの手法も試料表面から(e)程度のまでの深さ情報が支配的となる。

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	LEED	RHEED	前方	後方	10 Å
2.	LEED	RHEED	後方	前方	10 Å
3.	RHEED	LEED	後方	前方	10 Å
4.	MEED	RHEED	後方	前方	1000 Å
5.	LEED	MEED	後方	前方	1000 Å

問 9 7 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

下図のような 2 Å の格子点間隔を有す 2 次元正方格子の結晶表面に加速電圧 15 kV の電子線を矢印の方位に視射角 6° で入射させたときの反射高速電子回折(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、 $\sin 6^\circ = 0.105$ 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、(10)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。

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



問 9 8 次の文章中の(a)~(e)に入る語句の最も適切な組み合わせをつぎの1~5から選びなさい。

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。

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

問 9 9 次の文章中の(a)~(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1~5から選びなさい。

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

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

5. UPS、 プラズモン、 CCD、 屈折、 荒れ

問100 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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。

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

問101 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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。

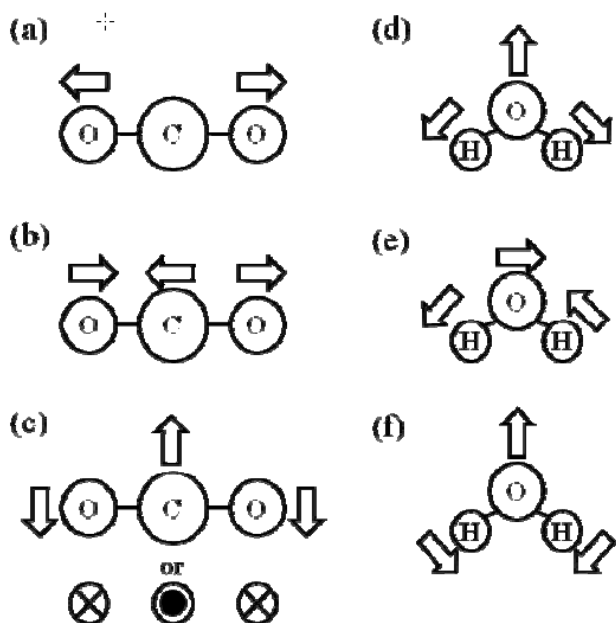
- | | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|----|-------------|-----------|---------|-------|-------|
| 1. | インターフェログラム、 | フーリエ変換、 | 距離を長く、 | 広帯域、 | ラマン散乱 |
| 2. | 電場波形、 | フーリエ変換、 | 間隔を細かく、 | 低周波数、 | 光電子分光 |
| 3. | インターフェログラム、 | ラプラス変換、 | 間隔を細かく、 | 広帯域、 | ラマン散乱 |
| 4. | 電場波形、 | ルジャンドル変換、 | 距離を長く、 | 低周波数、 | 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)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1~5から選びなさい。

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 つぎの図(a)~(f)は、二酸化炭素、および水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を全て挙げた組み合わせとして正しいものを1~5より選びなさい。



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)の記述のうち正しい記述の組み合わせを1~5から選びなさい。

- (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リシス(EPMA)に関する記述について正しいものの組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

- (a) EPMAは電子ビーム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。
- (b) EPMAは固体無機物分析に最も多く利用されている。
- (c) EPMAは微量水素の検出が可能である。
- (d) EPMAは電子線走査や試料駆動しながらX線検出する事により元素分布を表示できる。
- (e) EPMAは入射電子エネルギーとX線検出感度が比例する。

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

問106 電子線マイクロアナライザー(EPMA)に関する記述のなかで括弧内にあてはまる単語の正しい組み合わせはつぎのどれか、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)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
 2. (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)油拡散

3. (a)波長分散型 (b)分光結晶 (c)高分子 (d)光学顕微鏡 (e)油拡散
4. (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) 油拡散
5. (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

問107 電子線マイクロアナリシス(EPMA)に関する記述について正しいものの組み合わせはどれか、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 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。
- (c) EPMA では特定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) (c) (e)、 5. (b) (d) (e)

問108 走査電子顕微鏡(SEM)に関する記述のうち正しいものの組み合わせはどれか、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 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 V から数十万 V 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) (d) (e)、 3. (b) (c) (d)、 4. (b) (c) (e)、 5. (c) (d) (e)

問109 走査電子顕微鏡(SEM)に関する記述のなかで括弧内にあてはまる単語の正しい組み合わせは次のどれか、1～5の番号で答えなさい。

SEM の電子源は主に電界放出型、単結晶型、および(a)型の3種類に分類される。この中で最も輝度が高い電子源は(b)型である。電界放出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。また単結晶型電子源には LaB₆ ティップと(e) ティップが採用されている。

1. (a)タングステンヘヤピン (b)電界放出 (c)コールド (d) CeB₆ (e)ショットキー

2. (a)タングステンヘヤピン (b)電界放出 (c)ショットキー (d)コールド (e) CeB₆
3. (a)タングステンヘヤピン (b)電界放出 (c)コールド (d)ショットキー (e) CeB₆
4. (a)ショットキー (b)タングステンヘヤピン (c)コールド (d) CeB₆ (e)電界放出
5. (a)ショットキー (b)電界放出 (c)コールド (d)タングステンヘヤピン (e) CeB₆

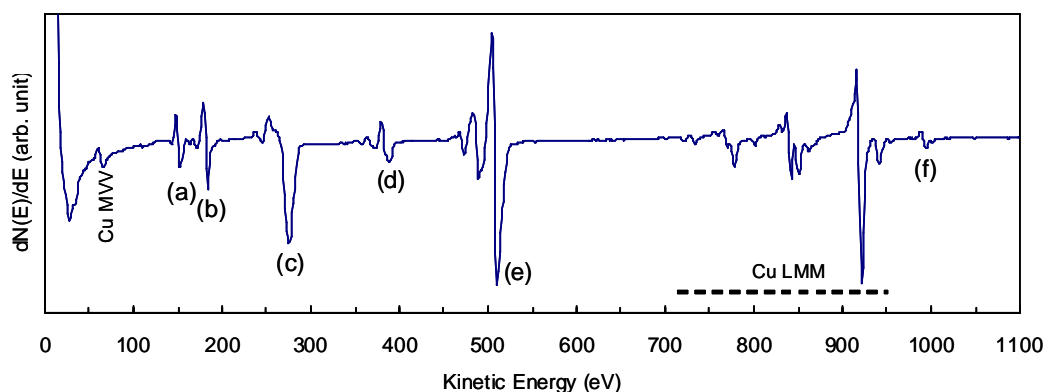
問 1 1 0 エネルギー分散型 X 線分光器(EDS)に関する記述のうち正しいものの組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (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. (a) (c) (d)、 3. (a) (d) (e)、 4. (a) (b) (d)、 5. (a) (c) (e)

問 1 1 1 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み合わせを1～5 の番号で答えなさい。

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



問 1 1 2 オージェ電子分光法による深さ方向分析について正しい記述の組み合わせはどれか、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)電子ビーム (b)回転 (c)相対感度係数 (d)高エネルギー
2. (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
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)電子ビーム (b)冷却 (c)相対感度係数 (d)低エネルギー
5. (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

問 1 1 3 深さ方向分析について正しい記述の組み合わせはどれか、1～5の番号で答えなさい。

イオンスパッタリングを用いない深さ方向分析として、機械的に (a) を行う方法、スパッタクレータの (b) を用いる方法等が上げられる。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)斜め研磨 (b)エッジ (c)拡大 (d)線分析
5. (a)断面研磨 (b)底面 (c)鏡面加工 (d)点分析

問 1 1 4 厚みが 50 nm の SiO₂ を予定した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 SiO₂ を予定した層の組成が 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み合わせを、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) 入射電子の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。
- (c) 入射電子ビームの加速電圧が 15 kV と高過ぎたために、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。
- (d) Ar イオンビームの加速電圧が 4 kV と高過ぎたために、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) 装置が持っていた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) (c) (d)、 3. (b) (d) (e)、 4. (c) (d) (e)、 5. (a) (b) (e)

問 1 1 5 高倍率でのオージェ電子分光分析について正しい記述の組み合わせはどれか、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 Weber(1967)や Harris(1968)以後一般的である。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) する必要がある、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、最も空間分解能が高い透過電子顕微鏡 (TEM)や原子間力顕微鏡 (AFM)と比べても、測定時間が数倍以上長いことが多い。高倍率での長時間測定において、測定位置の (e) に十分注意する必要がある。対応策としては、室温変化の影響を小さくするため、装置全体を遮蔽板等で覆い、ソフトウェアによる二次電子イメージの追尾機構を組み合わせるのが良いとされている。

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

問 1 1 6 次の文章中の(a)～(e)中に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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・試料間にかか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。

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

問 1 1 7 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

実験室系の X 線回折測定では一般に、銅(Cu)の(a)を入射 X 線として利用する。この(a)は主に $\text{CuK}\alpha_1$ 線と $\text{CuK}\alpha_2$ 線からなり、個々の(a)の強度で加重平均された $\text{CuK}\alpha$ 線とも呼ばれる。その波長は(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 $\text{CuK}\alpha_1$ 線のみが取り出され、その波長は(e) Åである。

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

問 1 1 8 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの1～5から選びなさい。

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)の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。

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

問 1 1 9 スタティック二次イオン質量分析法(static-SIMS)についてのつぎの文章のうち正しい記述の組み合わせを 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 1 次イオンのエネルギーが低いためである。

(b) 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。

(c) 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。

(d) static-SIMS では、1 次イオンパルスが試料を衝撃すると、1 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。

(e) static-SIMS では、dynamic-SIMS のような 1 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) (d)、 3. (b) (c)、 4. (b) (e)、 5. (c) (e)

問 1 2 0 つぎの(1)から(6)の飛行時間型二次イオン質量分析法(TOF-SIMS)についての記述を正しく完成する語句はどれか。正しい語句の組み合わせを 1~5 の番号で答えなさい。

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

(2) 1 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、マスク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) c (3) b-a (4) a-b (5) c (6) c
5. (1) a (2) b (3) a-b (4) a-a (5) a (6) c

問 1 2 1 飛行時間型二次イオン質量分析法(TOF-SIMS)におけるスタティック限界(static limit)の説明の (a)～(c)に入れるのに適切な語句の組み合わせを 1～5 の番号で答えなさい。

TOF-SIMS で 1 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/cm² である。例えば、10μm×10μm の領域を、1.6 nA (at DC mode) の 1 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) 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) 10⁹～10¹⁰ (c) 60sec
2. (a) イオン化断面積 (b) 10¹⁴～10¹⁵ (c) 1sec
3. (a) 散乱断面積 (b) 10¹²～10¹³ (c) 300sec
4. (a) 損傷断面積 (b) 10⁹～10¹⁰ (c) 60sec
5. (a) 損傷断面積 (b) 10¹²～10¹³ (c) 1sec

問 1 2 2 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、正しい記述の組み合わせはどれか、1～5 の番号で答えなさい。

- (a) クラスターイオンを用いると、2 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、2 次イオン化率向上の効果が大きいためである。
- (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) クラスターイオンは、多くの原子で一度に衝撃するため、帯電が激しい。
- (d) 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。
- (e) 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。

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

問 1 2 3 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの 1～5 から選

びなさい。

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 CuK α 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。

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

問 1 2 4 X 線を用いて表面・界面を評価する有効な技法として X 線反射率法がある。この技法は、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 線の干渉を観測するものである。

つぎの項目(a)~(e)のうち、X 線反射率法の特徴説明として正しい記述の組み合わせはどれか、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 μ m 程度の膜の厚さを評価できる。
- (c) 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。

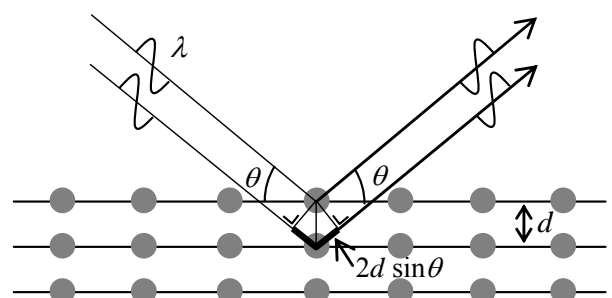
1. (a)と(b)のみ、 2. (a)と(b)と(c)のみ、 3. (d)のみ、 4. (c)と(e)のみ、 5. (a)から(e)すべて

問 1 2 5 次の文章中の(a)~(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせをつぎの 1~5 から選びなさい。

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、 $2d \sin \theta = \lambda$ (d : 格子面間隔、 λ : 入射 X 線の波長) で与えられ、この条件を(b)条件と呼ぶ。

この式を変形すると $\sin \theta = \frac{\lambda}{2d} \leq 1$ となり、

波長 $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ 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。

この回折信号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 $D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$ 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。

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

問 1 2 6 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. 目の錯覚
2. SiN_x 膜が青色の光を選択的に吸収するため
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、青色の反射光がより打ち消されたため
5. 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

問 1 2 7 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. 変化しない

2. より濃い青に変化する
3. 紫色に変化する
4. 膜厚に応じ、緑→黄→赤と変化する
5. 黒色に変化する

問 1 2 8 平坦な石英ガラス基板の上に、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. 目の錯覚
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 膜が赤色の光を選択的に吸収するため
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、赤色の光がより打ち消されたため
5. 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、赤色以外の光がより打ち消されたため

問 1 2 9 平坦な石英ガラス基板の上に、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 (非晶質シリコン) の膜厚が増加すると、表面色はどうか、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. 膜厚に応じ、薄い青色から濃い青色に変化する
4. 膜厚に応じ、黄色から緑色に変化する
5. 膜厚に応じ、濃い赤色から黒色に変化する。

問 1 3 0 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 1 3 1 次の文章の(a)~(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせを以下の 1~5 から選びなさい。

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 1 3 2 表面の機械的物性について、適切な記述の組み合わせを 1～5 の番号から選びなさい。

- (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、ヌーブ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ブ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、硬さ値の単位は 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 1 3 3 物質の「硬さ」に深く関与する因子の組み合わせで、正しいもの 1 つを 1～5 の番号で答えなさい。

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

問 1 3 4 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み合わせで、測定の位置決めを行うことができる。

問 1 3 5 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 1 つを 1～5 の番号で答えなさい。

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

問 1 3 6 薄膜の機械的特性評価に関する記述で正しいもの 1 つを 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 1 3 7 次の文章の(a)～(e)に入れるのもっとも適切な語句の組み合わせを以下の 1～5 から選びなさい。

オージェ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) は収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真空状態に放出され空孔が生じる。その上の準位から電子が落ち、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) を放出する減衰であり、もう一つは電子を放出する減衰で、下の空準位を埋めるために落ちた電子と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。

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

問138 次の文章の(a)~(e)に入れるのもっとも適切な数値の組み合わせを以下の1~5から選びなさい。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 の三元系からなる材料がある。これを相対感度係数 (RSF) により定量化することを考える。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。この材料を化学分析で組成分析したところ、A : 30 at%、B : 50 at%、C : 20 at% であった。バルクと表面で同一組成と仮定すると、RSF は、A : B : C = 1 : (a) : (b) となる。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

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	0.5	0.2	3	31	27
2.	1.0	0.4	6	41	37
3.	1.5	0.6	23	51	27
4.	1.5	0.6	23	41	27
5.	2.0	0.8	23	61	57

問139 次の文章の(a)~(e)に入れるのもっとも適切な語句の組み合わせを以下の 1~5 から選びなさい。

AES 分析・XPS 分析では、イオンスパッタリングを用いて表面領域を除去された最表面を分析することで、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。イオンビームを掃引して、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) で分析することが必要である。多層構造の界面付近の分析をするには、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。スパッタリングで生じる注意しなければいけない現象として、表面粗れ (荒れ)、(d)、(e) があげられる。

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

問 1 4 0 X線光電子分光法で、入射させる「もの」と検出する「もの」の組み合わせで正しいものはどれか、次の5つから選びなさい。

1. 電子を入射，X線を検出
2. X線を入射，X線を検出
3. 電子を入射，電子を検出
4. X線を入射，電子を検出
5. シンクロトロン放射光を入射，X線を検出

問 1 4 1 炭素の 1s 軌道の結合エネルギーは約 290eV である。Al K α 線(1487eV)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、1～5 の番号で答えなさい。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 1 4 2 X線光電子分光法は表面敏感な分析法である。表面敏感な理由として最も適する理由を1～5から選びなさい。

1. 入射 X線の透過距離が短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 1 4 3 酸素の 1s 軌道の結合エネルギーは約 530 eV である。酸素 KL₂₃L₂₃ オージェスペクトルの運動エネルギーはおよそ何 eV か？ここで L₂₃ 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 管で測定するとき、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？Mg K α 線のエネルギーを 1254 eV とする。適する組み合わせを選びなさい。

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

問 1 4 4 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。以下の中から化学結合状態と関係のない項目を1つ選びなさい。

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

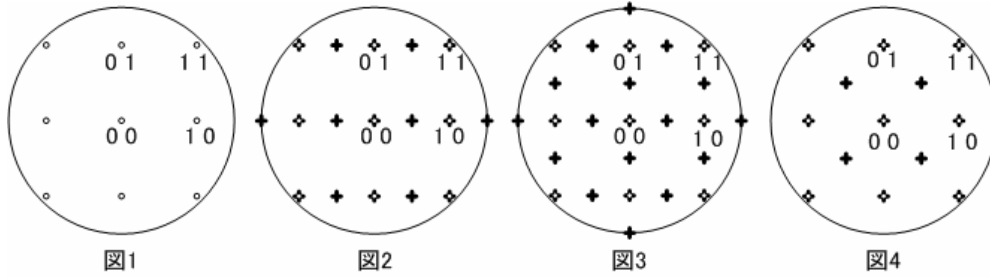
問 1 4 5 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせを以下の1～5から選びなさい。

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)。

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	逆格子点	逆格子ロッド	逆格子面	定常的である	振動する
2.	逆格子ロッド	逆格子点	逆格子面	振動する	定常的である
3.	逆格子面	逆格子ロッド	逆格子点	定常的である	振動する
4.	逆格子点	逆格子面	逆格子ロッド	振動する	定常的である
5.	逆格子点	逆格子ロッド	逆格子面	定常的である	定常的である

問 1 4 6 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせを以下の1～5から選びなさい。

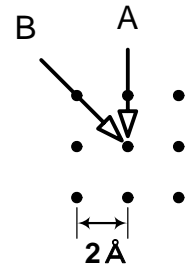
ある結晶表面を低速電子回折(LEED)観察したところ下の図1のパターンを示した。この結晶表面は(a)格子であることがわかる。この表面上に異種元素を吸着させたところ下の図2, 図3, 図4のようなパターンを示した。(○印は基本反射, +印は超格子反射を示す。)図2のパターンから(b)表面超構造を有すことがわかる。図3のパターンにおいて、いかなる入射エネルギーにおいても1/2 1/2超格子斑点およびそれと等価な超格子斑点が現れなかったことからこの表面には(c)超構造が形成されていると考えられる。図4のパターンから表面には(d)超構造の存在が考えられる。この表面は(e)超構造とみなすことも可能である。



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1.	正方	2x1	二重分域の 2x1	c(2x2)	$\sqrt{2} \times \sqrt{2} - R45^\circ$
2.	正方	2x1	2x2	3x3	$\sqrt{3} \times \sqrt{3} - R30^\circ$
3.	長方	2x1	二重分域の 2x2	c(2x2)	$\sqrt{3} \times \sqrt{3} - R30^\circ$
4.	正方	2x2	二重分域の 2x1	2x3	$\sqrt{2} \times \sqrt{2} - R45^\circ$
5.	六方	4x2	2x2	4x4	$\sqrt{2} \times \sqrt{2} - R45^\circ$

問 1 4 7 次の文章中の(a)～(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせを以下の1～5から選びなさい。

右図のような 2\AA 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 15kV 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) \AA 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、 $\sin 6^\circ = 0.105$ 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 150V 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) \AA であり, 1 1 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。

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

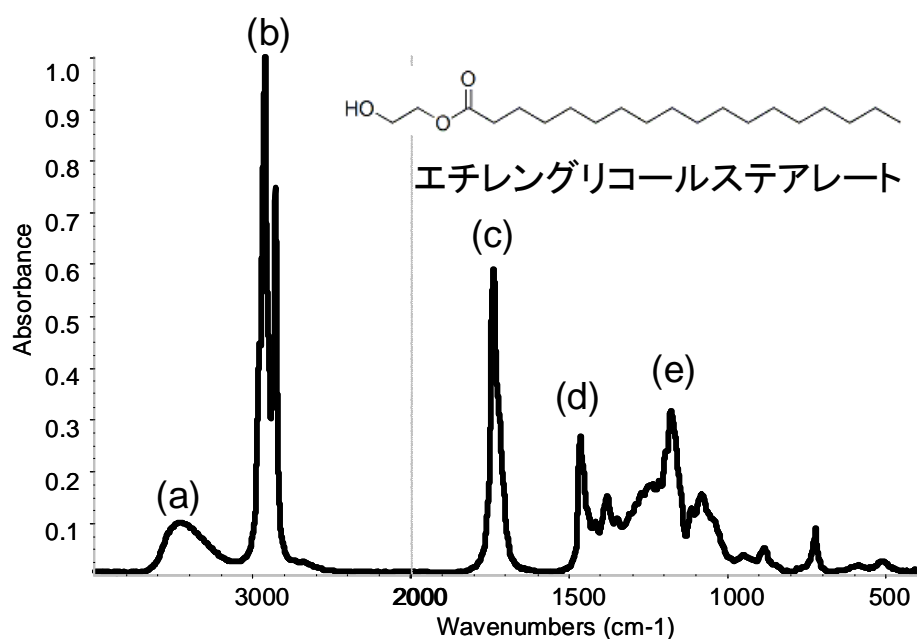
問 1 4 8 赤外分光法に関する次の説明文の正しい組み合わせはどれか、次の 1~5 の番号で答えなさい。

- (a) 赤外スペクトルの横軸の単位は cm である。
- (b) 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。
- (c) 高感度反射法 (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。
- (d) 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。
- (e) 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。

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

問 1 4 9 次の赤外スペクトルの帰属について、正しい組み合わせを 1~5 より選びなさい。

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



問 1 5 0 ラマン散乱分光に関する次の説明文のうち正しい組み合わせを 1～5 から選択しなさい。

- (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の波長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み合わせたものであり、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、たった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. (b) (c) (d) (e)、 2. (a) (b) (c) (e)、 3. (a) (b) (c) (d)、 4. (a) (b) (d)、 5. (a) (c) (d)

問 1 5 1 ラマン分光法の測定に関して、正しい記述の組み合わせはどれか。1 から 5 の番号で答えなさい。

- (a) 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。
- (b) 顕微ラマンのア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。
- (c) ラマン散乱では、時によって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。
- (d) 着色した物質について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。
- (e) 物質による感度差が激しいので、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。

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

問 1 5 2 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、電子銃側から見て正しい並びのものを選びなさい。

- 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 1 5 3 透過電子顕微鏡の回折コントラスト法に関する記述のうち正しいものはどれか、1つ選選びなさい。

1. 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。
2. 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。
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、試料全体が均一な像強度となる。
5. 非晶質の透過電子顕微鏡像では回折コントラストは生じない。

問 1 5 4 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。1～5のうち正しい組み合わせのものを1つ選選びなさい。

- (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) 電子ビームの開き角を大きくする。
- (d) フォーカス調整は、対物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) (e)のみ

問 1 5 5 走査トンネル顕微鏡 (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を選選びなさい。

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

問 1 5 6 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. 探針が試料表面に周期的に接触しているため
5. 探針が試料表面に接触していないため

問 1 5 7 真空中で試料表面の原子像を観察するのに適した原子間力顕微鏡 (AFM) の動作方式を選びなさい。

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

問 1 5 8 ダイナミック二次イオン質量分析法 (SIMS) について正しい記述の組み合わせはどれか。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。
- (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) 電子銃を併用することで絶縁物分析が可能である。
- (e) 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。

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

問 1 5 9 表面分析に関する次の説明文の(a)~(e)に挿入するのに適当な語句の組み合わせを1~5の中から選びなさい。

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。

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

問 1 6 0 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み合わせはどれか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 1 6 1 次の文章中の(a)~(e)に入れるのに最も適切な語句の組み合わせを以下の1~5 から選びなさい。

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 1 6 2 飛行時間型二次イオン質量分析法(TOF-SIMS)についての以下の文章のうち正しい記述の組み合わせを1~5 の番号で答えなさい。

- (a) TOF-SIMSでは、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) TOF-SIMSでは、パルス1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。
- (c) TOF-SIMSで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たいイオンを一次イオンとして用いるほうが良い。
- (d) TOF-SIMSでは、1次イオンパルスが試料を衝撃すると、1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。
- (e) TOF-SIMSでは、ダイナミック-SIMS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。

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

問 1 6 3 飛行時間型二次イオン質量分析法 (TOF-SIMS) についての以下の文章のうち正しい記述の組み合わせを1～5 の番号で答えなさい。

- (a) TOF-SIMS において、1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、2次イオン増感効果により2次イオン収率が向上する。
- (d) 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。
- (e) 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。

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

問 1 6 4 次の顕微鏡類 (A 群) とプローブ (B 群) の中の正しい組み合わせを C 群より 1 つ選んで1～5 の番号で答えなさい。

A 群

- (1) 走査トンネル顕微鏡
- (2) 走査超伝導量子干渉素子顕微鏡
- (3) 走査電気化学顕微鏡
- (4) 走査ケルビンプローブフォース顕微鏡
- (5) 走査近接場光顕微鏡

B 群

- (a) ファラデー電流
- (b) 磁束
- (c) トンネル電流
- (d) 近接場光
- (e) 表面電位

C 群

- 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 1 6 5 以下の走査トンネル顕微鏡に関する記述のうち、正しい組み合わせのものを1つ選べ。

- (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MOSFETでは、その微細化の進展とともにシリコン中のドーパント数が減少し、それ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となってきた。この測定に利用できる主な分析法を以下に列挙した。文中()内に挿入することが適切と思われる記述の組み合わせを以下の1～5の番号で選びなさい。

(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み合わせた手法であり、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
4. (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
5. (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

問167 ラザフォード後方散乱法(RBS)について正しい記述の組み合わせはどれか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 0.2nm 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)