

問1 下記の測定法でかならずしも真空を必要としないものはどれか。下の1～5の番号で答えなさい。

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

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

解説：(技術1) 解答 3 (基礎63)

準備中

問2 圧力を表す単位は現在 Pa が用いられるが、従来は Torr が使われていた。次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。

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

- (a) Pa は SI 単位系の圧力の単位で、その次元は N/m^2 である。
(b) 1Pa は約 133Torr であり、1 気圧は約 100kPa である。
(c) 1Torr は約 133Pa であり、1 気圧は約 760Torr である。
(d) 1Pa は 1m^2 当り約 0.1kg 重の力である。

解説：(技術2) 解答 3

圧力の単位系 (SI 国際単位)：圧力の国際単位は Pa (パスカル) であり、その次元は N/m^2 である。ここで N (ニュートン) は力の単位 ($\text{kg} \times \text{m}/\text{s}^2$) である。

従来は圧力の単位として Torr (トリチェリ) が用いられていた。(現在では慣用的に用いることはあるが、国際単位系の単位としては採用されていない。) この単位は、1 気圧のもとで水銀柱を 760 mm 押し上げることが出来るので、1 気圧=760 mmHg=760 Torr となっている。押し上げられる水銀柱の高さで圧力を測定する場合、測定場所の重力により異なる。また、1 気圧=101.3 kPa=760 Torr であるので、1 Torr=101.3 $\times 10^3/760=133.3$ Pa、1 Pa=760/101.3 $\times 10^3=7.5 \times 10^{-3}$ Torr=7.5 mTorr となる。

さらに、1 N (ニュートン) =1kg $\times 1 \text{ m}/\text{s}^2=1/9.807$ kg 重=0.1 kg 重 なので、1Pa (1 気圧=101.3 kPa) では 1m^2 当り約 0.1 kg 重 (1 気圧では 10^4 kg 重=10 ton 重) の力が加わっていることを表している。

(堀越源一、真空技術、pp7-9、東京大学出版会 (理工学実験4)、第3版2000年)

(福谷克之、応用物理、vol.78, pp903-907、2009)

問3 真空中に残留する気体は理想気体の状態方程式 $p=nkT$ に従う。ここで p は圧力、 n は気体分子数密度、 k はボルツマン定数 1.38×10^{-23} J/K、 T は絶対温度である。27°Cで1Paのときの気体分子数密度で最も適切なものはどれか。

1. $1.4 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 、 2. $7.5 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 、 3. $2.5 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$ 、 4. $7.5 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$ 、
5. $2.5 \times 10^{21} \text{m}^{-3}$

解説：(技術3) 解答 3

気体の圧力と分子数：気体が閉じ込められている容器の壁に Δt の時間の中に速度 \mathbf{v} の気体分子が入射することを考える。 Δt の間に面積 dS の容器壁に入射する速度 $\mathbf{v}=(v_x, v_y, v_z)$ の分子数は

$$dn(\mathbf{v})=dS \Delta t v_x n g(\mathbf{v}) dv^3$$

$g(\mathbf{v})$ は気体分子の速度分布関数である。(気体分子の速度分布関数については技術5の解説を参照) 面積 dS に入射する全分子数は壁に向かう粒子の和、つまり $v_x > 0$ である速度で積分すれば良い。

$$\Gamma dS \Delta t = \int dn(\mathbf{v}) = dS \Delta t \int v_x n g(\mathbf{v}) dv^3 = (1/4)n \langle v \rangle dS \Delta t \quad \Gamma = (1/4)n \langle v \rangle$$

入射した分子が壁で弾性的に反射されるとする。このとき質量 m の1個の分子の運動量変化は $2mv_x$ であるので、 Δt の間に面積 dS の容器壁に与えられる力積は

$$p dS \Delta t = \int 2mv_x \Delta t dn(\mathbf{v}) = \int 2mv_x dS \Delta t v_x n g(\mathbf{v}) dv^3 \\ = dS \Delta t \int 2mv_x v_x n (m/2\pi k_B T)^{3/2} \exp(-m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2k_B T) dv^3 = dS \Delta t n k_B T$$

それゆえ、 $p = n k_B T$ が得られる。 p は圧力、 n は気体分子数密度、 k はボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 、 T は絶対温度である。

27°C で 1Pa であるとき、 $T = 273 + 27 = 300\text{K}$ 。 $1\text{Pa} = n \times 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K} \times 300\text{K}$ より、 $n = 2.5 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$ が得られる。

(技術3、技術8、技術9)

また、単位時間当りに真空容器壁単位面積に入射する分子数は、密度 n を圧力で、平均速度を温度で置き換えると

$$\Gamma = p / (2\pi m k_B T)^{1/2} \quad \text{である。}$$

問4 気体分子の平均自由行程の説明で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) 気体分子が衝突せずに進行する平均距離である。
- (b) 平均自由行程は気体分子数密度に逆比例する。
- (c) 平均自由行程は気体分子の種類とは関係ない。
- (d) 27°C 、 1Pa のもとで平均自由行程が 6.5mm であれば、 10^{-3}Pa では 6.5m である。

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

解説：(技術4) 解答 2

気体分子の平均自由行程：気体分子は空間を自由に運動しているが、分子が近づくと相互作用して互いに散乱される。分子間の平均距離は相互作用が生じる距離に比べて大きいので、1回の衝突散乱後には分子間の平均距離の程度を自由に運動していると考えて良い。気体分子を直径 d の剛体球と考える。2個の分子の中心間の距離が d まで近づくと衝突する。単位体積当り n 個の分子が存在する中を速度 v の分子が Δt 時間走ると、この間の衝突数は $\Delta w = \pi d^2 n v \Delta t$ であり、1回の衝突が生じると期待される距離(平均自由行程)は $\lambda = v \Delta t / \Delta w = 1 / \pi d^2 n = 1 / sn$ ここで s は分子の衝突断面積である。平均自由行程は分子の大

長さ（衝突断面積 s ）と分子数密度 n に反比例する。互いに運動している同種分子同士の衝突に関する平均自由行程は $\lambda = v \Delta t / \Delta w = 1 / \sqrt{2} \pi d^2 n = 1 / \sqrt{2} s n$ となる。

衝突断面積は分子の種類により異なり、したがって分子数密度 n が等しい場合でも気体分子の種類により平均自由行程は異なる。

25°Cの窒素分子の衝突断面積（ $s = \pi d^2$ 、 $d = 0.378 \text{ nm}$ ）（熊谷寛夫、富永五郎：真空の物理と応用、裳華房、1970、pp.49）を用いると、1 Paにおいて平均自由行程は約 6.5 mm となる。（福谷克之、応用物理、vol.78, pp903-907、2009）

平均自由行程は衝突が 1 回生じると期待される距離であるから、 N 個の分子が距離 $\Delta x = v \Delta t$ を走るとき生じる衝突数は $N \Delta w = \Delta N$ なので、自由に運動し続けている分子は ΔN だけ減少する。

$$-\Delta N = N v \Delta t / \lambda = N \Delta x / \lambda$$

$\Delta t \rightarrow 0$ ($\Delta x \rightarrow 0$) の極限を考えて初期の分子数を N_0 として N について解くと $N(x) = N_0 \exp(-x/\lambda)$ を得る。距離 x を衝突せずに運動した分子のうち ΔN 個が Δx を走る間に衝突するので、分子が衝突せずに自由に運動する距離の平均は

$$\langle x \rangle = (1/N_0) \int x N(x) dx / \lambda = \lambda$$

である。平均自由行程 λ より長く衝突せずに運動する分子数は

$$n(x > \lambda) = \int dN (x > \lambda) = N_0 \int_{\lambda}^{\infty} \exp(-x/\lambda) dx / \lambda = N_0 [\exp(-1) - 0] = 0.37 N_0$$

平均自由行程 λ より短い距離で衝突する分子数は

$$n(0 < x < \lambda) = \int dN (0 < x < \lambda) = N_0 \int_0^{\lambda} \exp(-x/\lambda) dx / \lambda = N_0 [\exp(0) - \exp(-1)] = 0.63 N_0$$

平均自由行程より短い距離で衝突する分子数と平均自由行程より長く衝突せずに運動する分子数の比は、約 2 : 1 である。（技術 12）

問 5 気体の中の分子の平均速度は $v = (8kT/\pi m)^{1/2}$ で表される。ここで k はボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ 、 T は絶対温度、 m は分子の質量である。水素分子の平均速度は、27°Cの温度で 1800m/s である。窒素分子の平均速度で最も近いものは次のどれか。1〜5の番号で答えなさい。

1. 1280m/s、
2. 680m/s、
3. 480m/s、
4. 340m/s、
5. 130m/s

解説：（技術 5） 解答 3

気体の平均速度は以下の述べるように、その分子質量の $-1/2$ 乗に比例する。水素分子の分子量は 2、窒素分子の分子量は 28 であるから、窒素分子の平均速度は

$$v(\text{窒素分子}) = 1800 \text{ m/s} \times (2/28)^{-1/2} = 480 \text{ m/s}$$

である。

気体の速度分布と平均速度：理想的な気体（理想気体）は気体分子間に相互作用はなく空間を自由に運動していると考えられる。このとき気体分子の速度分布は Maxwell の速度分布則で表現される。

単位体積当り n 個の粒子（質量を m とする）が含まれるとき、その粒子のうち速度が $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)$ を含む速度空間の微小体積 $dv^3 = dv_x dv_y dv_z$ の中にある粒子の数は以下の式で表される。（ T は絶対温度）

$$dN = n (m/2\pi k_B T)^{3/2} \exp(-m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/2k_B T) dv^3 = n g(\mathbf{v}) dv^3$$

ここで $g(\mathbf{v})$ は Maxwell の速度分布関数である。また粒子の速さ $v=|\mathbf{v}|=(v_x^2+v_y^2+v_z^2)^{1/2}$ に関する分布関数 $f(v)$ は $f(v) dv = 4\pi (m/2\pi k_B T)^{3/2} v^2 \exp(-mv^2/2k_B T) dv$ である。

この分布関数 $f(v)$ を用いると、気体分子の平均速度は、 $\langle v \rangle = \int v f(v) dv = (8k_B T / \pi m)^{1/2}$ となる。(技術 5、技術 6、技術 7、技術 10) また気体分子の運動エネルギーの平均は以下のように求められる。

$$\langle E \rangle = \int (mv^2/2) f(v) dv = (m/2) \langle v^2 \rangle = (3k_B T/2)$$

この平均運動エネルギーから得られる熱速度は $v_T = (2\langle E \rangle / m)^{1/2} = (\langle v^2 \rangle)^{1/2} = (3k_B T / m)^{1/2}$ である。

問 6 気体の中の分子の平均速度は $v = (8kT/\pi m)^{1/2}$ で表される。ここで k はボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 、 T は絶対温度、 m は分子の質量である。水素分子の分子量を 2、アボガドロ数を $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ 、 27°C の温度で、水素分子の平均速度として適切なものは次のどれか。最も適切な速度を 1-5 の番号で答えなさい。

1. 1800m/s、 2. 600m/s、 3. 480m/s、 4. 180m/s、 5. 60m/s

解説：(技術 6) 解答 1

気体中の分子の平均速度については、技術 5 (気体の速度分布と平均速度) を参照。

$$v(\text{水素分子}) = (8 \times 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K} \times (27+273) \text{K} / \pi (0.002 \text{kg/mol} / 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}))^{1/2} \\ = 1800 \text{m/s}$$

問 7 気体の中の分子の平均速度は $v = (8kT/\pi m)^{1/2}$ で表される。ここで k はボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 、 T は絶対温度、 m は分子の質量である。窒素分子の分子量を 28、アボガドロ数を $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ 、 27°C の温度で、窒素分子の平均速度で最も近いものは次のどれか。最も適切な速度を 1-5 の番号で答えなさい。

1. 1800m/s、 2. 600m/s、 3. 480m/s、 4. 340m/s、 5. 50m/s

解説：(技術 7) 解答 3

気体中の分子の平均速度については、技術 5 (気体の速度分布と平均速度) を参照。

$$v(\text{窒素分子}) = (8 \times 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K} \times (27+273) \text{K} / \pi (0.028 \text{kg/mol} / 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}))^{1/2} \\ = 480 \text{m/s}$$

問 8 真空中で気体が真空容器の壁面の単位面積に単位時間当りに衝突する分子数は $\Gamma = p / (2\pi mkT)^{1/2}$ で表される。ここで k はボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 、 T は絶対温度、 m は分子の質量である。温度 27°C 、圧力 $p = 1 \text{Pa}$ のもとでは 1cm^2 当り毎秒およそ 3×10^{18} 個の分子が衝突する。壁面の原子数密度を $4 \times 10^{14} \text{個/cm}^2$ として、圧力 10^{-3}Pa のもとで単位面積に入射する分子が容器壁面に全て付着する場合 (付着確率=1)、壁面の原子数密度と同じになる時間として最も適切なものを 1-5 の番号で答えなさい。

1. 約 13 秒、 2. 約 7 秒、 3. 約 1.3 秒、 4. 約 0.7 秒、 5. 約 0.13 秒

解説：(技術 8) 解答 5

真空容器壁面に衝突する分子数については、技術 3 の解説（気体の圧力）を参照。

壁面に衝突する分子数は圧力に比例する。圧力 $p=1\text{Pa}$ のもとで 1cm^2 当り毎秒およそ 3×10^{18} 個の分子が衝突するので、圧力 10^3Pa のもとで単位面積に入射する分子数は

$$n=3\times 10^{18}\text{ 個/cm}^2/\text{s}\times 0.001\text{Pa}=3\times 10^{15}\text{ 個/cm}^2/\text{s}$$

付着確率 1 で壁面に分子が付着して壁面を覆うのに必要な時間は

$$t=4\times 10^{14}\text{ 個/cm}^2\div 3\times 10^{15}\text{ 個/cm}^2/\text{s}=0.13\text{s}$$

問 9 真空中で気体が真空容器の壁面の単位面積に単位時間当りに衝突する分子数は $\Gamma=p/(2\pi mkT)^{1/2}$ で表される。ここで k はボルツマン定数 $1.38\times 10^{-23}\text{J/K}$ 、 T は絶対温度、 m は分子の質量である。温度 27°C 、圧力 $p=1\text{Pa}$ で窒素ガスが真空容器に閉じ込められている。その真空容器の壁 1cm^2 に単位時間当りに入射する分子数は次のどれが適切か。1~5 の番号で答えなさい。ただし窒素分子の分子量を 28、アボガドロ数を $6.02\times 10^{23}/\text{mol}$ とする。

1. 約 3×10^{14} 個/秒/ cm^2 、
2. 約 3×10^{16} 個/秒/ cm^2 、
3. 約 3×10^{18} 個/秒/ cm^2 、
4. 約 3×10^{20} 個/秒/ cm^2 、
5. 約 3×10^{22} 個/秒/ cm^2

解説：(技術 9) 解答 3

真空容器壁面に衝突する分子数については、技術 3 の解説（気体の圧力）を参照。

$$\begin{aligned}\Gamma &= 1\text{Pa} / (2\pi \times (0.028\text{kg/mol} / 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}) \times 1.38 \times 10^{-23}\text{J/K} \times (27+273)\text{K})^{1/2} \\ &= 3 \times 10^{22}\text{ 個/秒/m}^2 = 3 \times 10^{18}\text{ 個/秒/cm}^2\end{aligned}$$

問 10 室温における水素を除く気体分子や、熱蒸発原子の速度で最も適切なものは次のうちどれか。1~5 の番号で答えなさい。

1. 数 m/s、
2. 数百 m/s、
3. 数万 m/s、
4. 数十 m/s、
5. 数千 m/s

解説：(技術 10) 解答 2

気体分子の平均速度については 技術 5 の解説（気体の速度分布と平均速度）を参照。

気体分子の分子量は窒素の場合 28g/mol 、蒸発原子の原子量も同程度であるが、水素分子の分子量は 2g/mol と小さい。水素分子を除いて、原子量・分子量を窒素の分子量で代表させる。室温を 300K 、蒸発原子の温度はいろいろであるが、仮に 1000K とする。分子原子の平均速度は温度 T の $1/2$ 乗に比例するので、温度の効果は高々 2 倍程度である。室温における窒素分子の平均速度は約 480m/s であり、蒸発原子の速度もあまり変わらない。つまり、数百 m/s である。

問 11 圧力 1Pa の真空中の気体分子の平均自由行程に近い長さは、次のうちどれか。1~5 の番号で答えなさい。

1. 13 mm、
2. 13 cm、
3. 1.3 m、
4. 13 m、
5. 1.3 mm

解説：(技術 1 1) 解答 1

技術 4 の解説（平均自由行程）を参照。

技術 4 の解説では、1Pa における平均自由行程を 6.5mm としたが、分子は通常剛体でも球でもないので分子の衝突断面積を決定することは難しい。分子直径 d が 30%減少すると衝突断面積は $1/2$ となり、平均自由行程 b は 13mm となる。分子直径が 2 倍になると衝突断面積は 4 倍となり、平均自由行程は $1/4$ (1.6mm) となる。それゆえ解答として適切なものは、13mm となる。

問 1 2 気体分子が、衝突せずに進む距離について、次のうちもっとも適切なものはどれか。1~5 の番号で答えなさい。(ただし必要なら e を自然対数の底として、 $1/e=0.37$ であることを用いなさい)

1. 平均自由行程より常に短い
2. 平均自由行程より長い場合と短い場合がほぼ半々
3. 平均自由行程より長い場合と短い場合がおよそ 1:2
4. 平均自由行程より長い場合と短い場合がおよそ 2:1
5. 全て平均自由行程より長い

解説：(技術 1 2) 解答 3

技術 4 の解説（気体分子の平均自由行程）を参照。

問 1 3 真空中に排気するためのポンプには、以下のものが一般的である。

- (a) 油回転ポンプ
- (b) 油拡散ポンプ
- (c) ターボ分子ポンプ
- (d) チタンゲッタポンプ
- (e) ソープションポンプ
- (f) イオンポンプ
- (g) クライオポンプ
- (h) スクロールポンプ

これらのポンプのうち、主に低真空(圧力 10^{-1} Pa より高い圧力)で使用されるものはどれか、正しい組み合わせを番号で答えなさい。

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

解説：(技術 1 3) 解答 3

準備中

問 1 4 真空中に排気するためのポンプには、以下のものが一般的である。

- (a) 油回転ポンプ

- (b) 油拡散ポンプ
- (c) ターボ分子ポンプ
- (d) チタンゲッタポンプ
- (e) ソープションポンプ
- (f) イオンポンプ
- (g) クライオポンプ
- (h) スクロールポンプ

これらのポンプのうち、高真空(圧力 10^2Pa より低い圧力)で用いられるポンプをはどれか、正しい組み合わせを番号で答えなさい。

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

解説：(技術 1 4) 解答 5

準備中

問 1 5 気体輸送型真空ポンプのみを挙げたものは次のどれか。1～5 の番号で答えなさい。

1. 油回転ポンプ、ターボ分子ポンプ、油拡散ポンプ、スクロールポンプ
2. 油回転ポンプ、ソープションポンプ、油拡散ポンプ、クライオポンプ
3. 油回転ポンプ、ターボ分子ポンプ、クライオポンプ、メカニカルブースターポンプ
4. ターボ分子ポンプ、ソープションポンプ、油拡散ポンプ、イオンポンプ
5. 油回転ポンプ、ソープションポンプ、サブリメーションポンプ、スクロールポンプ

解説：(技術 1 5) 解答 3

準備中

問 1 6 気体溜込み型真空ポンプのみを挙げたもの次のどれか。1～5 の番号で答えなさい。

1. クライオポンプ、ターボ分子ポンプ、油拡散ポンプ、スクロールポンプ
2. 油回転ポンプ、ソープションポンプ、サブリメーションポンプ、クライオポンプ
3. イオンポンプ、ターボ分子ポンプ、クライオポンプ、メカニカルブースターポンプ
4. ターボ分子ポンプ、ソープションポンプ、油拡散ポンプ、イオンポンプ
5. クライオポンプ、ソープションポンプ、サブリメーションポンプ、イオンポンプ

解説：(技術 1 6) 解答 5

準備中

問 1 7 ターボ分子ポンプについて次の記述のうち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)多数の回転翼が固定翼の間で高速に回転している。
- (b)回転翼外縁の速度は気体分子の平均速度の2倍以上でなければならない。
- (c)ターボ分子ポンプの排気速度は気体の分子量に比例する。
- (d)オイルフリーの真空を得ることが可能である。
- (e)一般にターボ分子ポンプは水素ガスの排気には適さない。

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

解説：(技術17) 解答 2

準備中

問18 真空容器中の圧力を測定する真空計は、以下のものが一般的である。

- (a) ピラニーゲージ
- (b) ペニングゲージ
- (c) 冷陰極電離真空計
- (d) マクラウド真空計
- (e) BAゲージ

これらの真空計のうち主に低真空(圧力 10^2Pa より高い圧力)で用いるものはどれか、正しい組み合わせを番号で答えなさい。低真空・高真空どちらにも適したものを含めてよい。

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

解説：(技術18) 解答 2

準備中

問19 真空容器中の圧力を測定する真空計は、以下のものが一般的である。

- (a) ピラニーゲージ
- (b) ペニングゲージ
- (c) 冷陰極電離真空計
- (d) マクラウド真空計
- (e) BAゲージ

これらの真空計のうち主に高真空(圧力 10^2Pa より低い圧力)で使用するのに適した真空計はどれか、正しい組み合わせを番号で答えなさい。低真空・高真空どちらにも適したものを含めてよい。

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

解説：(技術19) 解答 3

準備中

問 2 0 次に挙げる真空計の組み合わせのうち、測定可能圧力が低い順に並んでいるのはどれか。1～5の番号で答えなさい。

1. B-A ゲージ<熱陰極電離真空計<ペニングゲージ<ピラニゲージ<U 字管マンメータ
2. 熱陰極電離真空計<B-A ゲージ<ペニングゲージ<U 字管マンメータ<ピラニゲージ
3. B-A ゲージ<ペニングゲージ<熱陰極電離真空計<ピラニゲージ<U 字管マンメータ
4. B-A ゲージ<ペニングゲージ<熱陰極電離真空計<U 字管マンメータ<ピラニゲージ
5. B-A ゲージ<ピラニゲージ<熱陰極電離真空計<ペニングゲージ<U 字管マンメータ

解説：(技術 2 0) 解答 1

準備中

問 2 1 次に挙げる真空計のうち、絶対圧を測定可能な測定器の組み合わせはどれか。最も適切な組み合わせを 1～5 の番号で答えなさい。

- (a)熱陰極電離真空計、 (b)ペニングゲージ、 (c)ピラニゲージ、
(d)マクラウド真空計、 (e) U 字管マンメータ

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

解説：(技術 2 1) 解答 5

準備中

問 2 2 Knudsen cell のような微小な面蒸発源の面法線方向を極軸にとり、極角 θ だけ傾いた方向で、距離 r に設置した基板上での成膜速度を v nm/s とする。

θ を固定した場合、成膜速度 v と r の関係は次のうちどれか。1～5 の番号で答えなさい。

1. r に比例する。
2. $1/r$ に比例する。
3. $1/r^2$ に比例する。
4. r には依存しない。
5. r^2 に比例する。

解説：(技術 2 2) 解答 3

準備中

問 2 3 Knudsen cell のような微小な面蒸発源の面法線方向を極軸にとり、極角 θ だけ傾いた方向で、距離 r に設置した基板上での成膜速度を v nm/s とする。

r を固定した場合、 v と θ の関係は次のうちどれか。1～5 の番号で答えなさい。

1. $\cos \theta$ に比例する。
2. $\sin \theta$ に比例する。
3. $\tan \theta$ に比例する。
4. $\sin \theta$ に反比例する。
5. $\cos \theta$ に反比例する。

解説：(技術 2 3) 解答 1
準備中

問 2 4 Knudsen cell のような微小な面蒸発源の面法線方向を極軸にとり、極角 θ だけ傾いた方向で、距離 r に設置した基板上での成膜速度を v nm/s とする。このとき微小な面蒸発源から蒸発分子の総量が最も多く飛び出す極角は次のうちどれか。1~5 の番号で答えなさい。

1. $\theta = 0^\circ$
2. $\theta = 30^\circ$
3. $\theta = 45^\circ$
4. $\theta = 60^\circ$
5. $\theta = 90^\circ$

解説：(技術 2 4) 解答 3
準備中

問 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を以下の 1~5 から選びなさい。
薄膜が下地の結晶に対して一定の方位関係を持ちながら成長する場合、(a) 薄膜という。異種元素からなる (a) 薄膜が接する界面を、(b) 界面と呼ぶ。また、(a) 薄膜を多数積層し、組成と結晶周期を人為的に制御して作製した結晶を (c) 格子と呼ぶ。このような (a) 薄膜の、成長過程におけるその場結晶構造モニターの手法として、(d) が、また、膜厚のモニターとしては (e) が最も一般的に用いられる。

1. (a) エピタキシャル、(b) ナノ、(c) 結晶、(d) MEED、(e) 剛体振り子
2. (a) エピタキシャル、(b) ヘテロ、(c) 自然、(d) LEED、(e) 水晶振動子
3. (a) エピタキシャル、(b) ヘテロ、(c) 人工、(d) RHEED、(e) 水晶振動子
4. (a) アモルファス、(b) ホモ、(c) 人工、(d) RHEED、(e) タイマー
5. (a) アモルファス、(b) ナノ、(c) 人工、(d) TEM、(e) XPS

解説：(技術 2 5) 解答 3
準備中

問 2 6 電気めっき法と真空蒸着法に関する以下の記述のうち、正しいものを 1 つ選びなさい。

1. 電気めっき法は水中で行うため真空装置を必要とせず、大面積化が可能である。
2. 電気めっき法では簡便な方法であるが膜厚の制御ができない。
3. 真空蒸着法では膜厚を制御するためには超高真空装置を必要とする。
4. 真空蒸着法では大面積化が不可能である。
5. 真空蒸着法では膜厚の制御はできない。

解説：(技術 26) 解答 1

真空蒸着法：必ずしも超高真空 (10^{-5} ~ 10^{-9} Pa) を必要としない。残留ガスの影響を受けにくい物質については、蒸発物質分子の平均自由行程が真空槽の大きさより長ければよいので、高真空 (10^{-1} ~ 10^{-5} Pa) においても真空蒸着が行われる。

電解めっき法：電解めっき法では、溶液中のイオンが電極で中性化されて膜として堆積する。堆積する膜に含まれる原子数は、ファラデーの法則により中性化されたイオンの電荷 $Q=I \times t$ に比例する。ここで I は電流、 t は電流を流す時間である。膜の堆積速度と膜厚は、それぞれ電流 I と電流を流す時間により制御することができる。

薄膜の厚さ測定と制御：真空蒸着法では、水晶振動子を用いた膜厚モニターにより 0. ? nm 程度の精度で膜厚 (蒸着物質の面密度) が測定される。この信号を蒸着電源 (電流) にフィードバックすることにより膜の成長速度および膜厚の制御を行うことが出来る。

問 2 7 ニッケルイオン (Ni^{2+}) の濃度が 0.50 mol/l の溶液中から、表裏の表面積の合計 6.0 cm^2 (厚さは無視) のステンレス基板上に Ni を 2.5 nm の厚さで電解めっきしたい。以下の中から正しい操作を 1 つ選びなさい。ただし、アボガドロ数を $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ 、ファラデー定数を $10^5 \text{ C} / \text{mol}$ とし、Ni 原子 1 個の占有面積を 0.25 nm^2 、Ni 1 原子層の厚さを 0.25 nm とする。

1. 0.4 A の電流を 20 秒間流す。
2. 0.4 V の電圧を 20 秒間かける。
3. 0.4 mA の電流を 20 秒間流す。
4. 0.4 mV の電圧を 20 秒間かける。
5. 0.4 A の電流を 10 秒間流す。

解説：(技術 2 7) 解答 3

電気めっき法の計算：面積 6.0 cm^2 厚さ 2.5nm の Ni 膜に含まれる Ni 原子数 n は

$$n=6.0 \times 10^{14} [\text{nm}^2] \times 2.5 [\text{nm}] / 0.25 [\text{nm}^2] / 0.25 [\text{nm}] = 2.4 \times 10^{16}$$

n 個の Ni 原子を析出させるために必要な電荷量 Q は、(Ni イオンは 2 価であるから)

$$Q=2 \times 2.4 \times 10^{16} \times 10^5 [\text{C/mol}] / 6.0 \times 10^{23} [1/\text{mol}] = 8.0 \times 10^{-3} [\text{C}] = 0.4 [\text{mA}] \times 20 [\text{s}]$$

である。

問 2 8 X線の波長 (λ nm) とエネルギー (E eV) の関係を表す式は下記のどれか。1~5の番号で答えなさい。ただしプランク定数 $h=6.6 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ 、光速 $c=3.0 \times 10^8 \text{m}$ 、素電荷 $q=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ とする。

1. $\lambda=1.24 \times 10^3/E$ 、 2. $\lambda=1.24/E$ 、 3. $\lambda=1.24/E^{1/2}$ 、 4. $\lambda=1.24 \times 10^{-2}/E^{1/2}$ 、
5. $\lambda=1.24 \times 10^{-2}/E$

解説：(技術 2 8) 解答 1 (基礎 3)

準備中

問 2 9 エネルギー分散型 X線分光法 (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) 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、その冷却が必要である。
(d) 波長分散型 X線分光法(WDX)に比べてエネルギー分解能が高い。

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

解説：(技術 2 9) 解答 2 (分析法各論 1 9)

準備中

問 3 0 ド・ブロイによれば電子の運動量と波長 (λ) の間には $\lambda=h/p$ (ここに h はプランク定数、 p は運動量) の関係がある。

電子のド・ブロイ波長 (λ nm) と電子のエネルギー (E eV) の関係を表す式はどれか。ただし、相対論的な補正を考えないとする。1~5の番号で答えなさい。(プランク定数 $h=6.6 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ 、素電荷 $q=1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 、電子質量 $m=9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$)

1. $\lambda=1.2 \times 10^3/E$ 、 2. $\lambda=1.2/E$ 、 3. $\lambda=1.2/E^{1/2}$ 、 4. $\lambda=1.2 \times 10^{-2}/E^{1/2}$ 、
5. $\lambda=1.2 \times 10^{-2}/E$

解説：(技術 3 0) 解答 3 (基礎 4)

準備中

問 3 1 電子の検出に用いられる代表的な検出器の正しい組み合わせはどれか。1~5の番号で答えなさい。

- (a)シンチレータ+光電子増倍管, (b)光電子増倍管, (c)チャンネルトロン,

(d)半導体検出器

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

解説：(技術 3 1) 解答 4

準備中

問 3 2 電子顕微鏡の電子源として主にタングステン(W)ヘヤピン型、LaB₆単結晶型、ショットキー型、冷陰極電界放出型電子源が用いられている。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) 輝度：小→大

Wヘヤピン型<LaB₆単結晶型<ショットキー型<冷陰極電界放出型

(b)ビーム径：大→小

Wヘヤピン型<LaB₆単結晶型<ショットキー型<冷陰極電界放出型

(c)電子のエネルギー幅：小→大

Wヘヤピン型<LaB₆単結晶型<ショットキー型<冷陰極電界放出型

(d)ビーム径：小→大

Wヘヤピン型<LaB₆単結晶型<ショットキー型<冷陰極電界放出型

(e)ビーム電流の安定性：不良→良

Wヘヤピン型<LaB₆単結晶型<ショットキー型<冷陰極電界放出型

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

解説：(技術 3 2) 解答 1

準備中

問 3 3 電子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)球面収差はレンズの中心軸から離れた部分を通過する電子が中心軸付近を通過する電子ビームより強く屈折するために生じる。

(b)磁場を用いた電子レンズは凹レンズの働きをするものだけなので球面収差を補正することはできない。

(c)色収差は電子線のエネルギー-分布幅、加速電圧の変動、および試料を通過する電子がエネルギーを失うことなどが原因である。

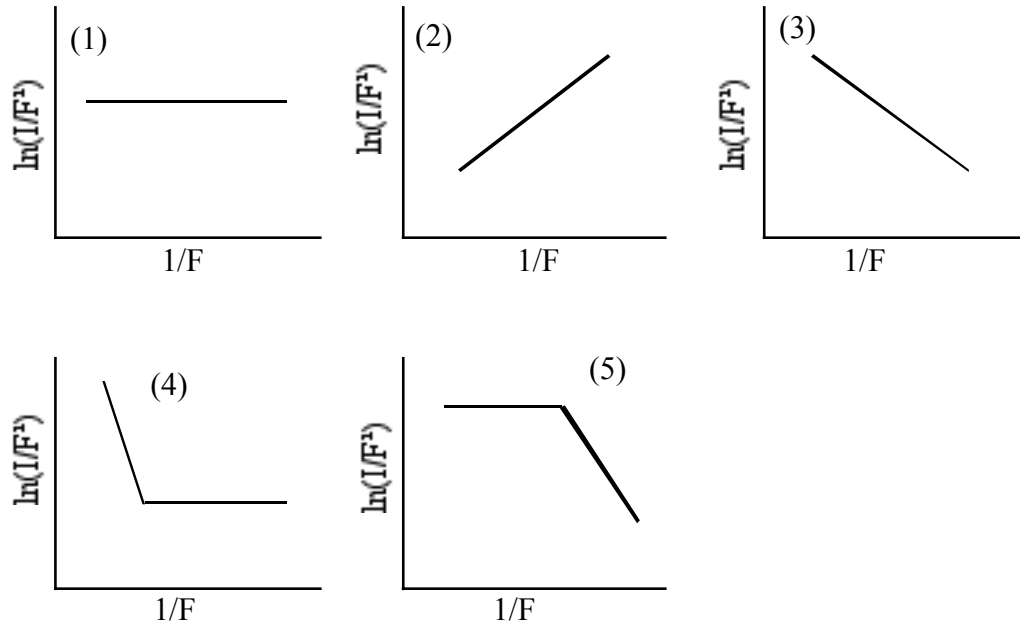
(d)非点収差はレンズの均一性や非対称性、汚れ、試料の磁性などによりレンズの磁場の軸対称性が崩れて、入射電子が一点で焦点を結ばなくなることによる。

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

解説：(技術 3 3) 解答 3

準備中

問 3 4 金属表面に印加した電界強度 F [V/nm] とそれによって放出された電流値 I [A] の関係を、縦軸 $\ln[I/F^2]$ 、横軸 $1/F$ としたグラフは Fowler-Nordheim プロットと呼ばれ、電界電子放射の電流-電界特性として知られている。Fowler-Nordheim プロットの概形として適切な図はどれか。1~5 の番号で答えなさい。



解説：(技術 3 4) 解答 3

(基礎 4 5)

準備中

問 3 5 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以下の 1~5 から選びなさい。X 線光電子分光法 (XPS) の分光器は、(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、(c) 変わると、(d) 大きく変化する
5. (a) 静電半球型、(b) 一定、(c) 変わっても、(d) 変化しない

解説：(技術 3 5) 解答 5

(分析法各論 5 3)

準備中

問36 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)と(b)、 2. (b)と(c)、 3. (c)と(d)、 4. (a)と(d)、 5. (a)と(c)

解説：(技術36) 解答 3 (分析法各論16)

準備中

問37 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以下の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 |

解説：(技術37) 解答 4 (分析法各論17)

準備中

問38 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)と(b)、 2. (b)と(c)、 3. (c)と(d)、 4. (a)と(d)、 5. (a)と(c)

解説：(技術38) 解答 4 (分析法各論18)

準備中

問 3 9 結晶材料の透過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) 回折図形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)と(b)、 2. (b)と(c)、 3. (c)と(d)、 4. (a)と(d)、 5. (a)と(c)

解説：(技術 3 9) 解答 5 (分析法各論 2 0)

準備中

問 4 0 中エネルギーイオン散乱に関する正しい記述の組み合わせは次のうちどれか。以下の 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)

解説：(技術 4 0) 解答 3 (分析法各論 6 8)

準備中

問 4 1 低エネルギーイオン散乱に関する正しい記述の組み合わせは次のうちどれか。以下の 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)

解説：(技術 4 1) 解答 3 (分析法各論 6 9)

準備中

問4 2 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以下の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 |

解説：(技術4 2) 解答 5 (分析法各論2 8)
準備中

問4 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以下の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、 | 金薄膜、 | 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 |

解説：(技術4 3) 解答 1 (分析法各論2 9)
準備中

問4 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以下の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、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。

- | | (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 |

解説：(技術 4 4) 解答 1 (分析法各論 3 0)
準備中

問 4 5 原子間力顕微鏡 (AFM) とケルビンプローブフォース顕微鏡 (KFM) について、次の記述のうち正しい組み合わせはどれか。1～5 より選びなさい。

- (a) AFMは、プローブ先端と試料表面の原子間に働く力を測定するものであり、測定原理上プローブや試料の導電性を必要としない。
- (b) KFMは、プローブと試料表面の仕事関数差 (静電気力) を測定するものである。
- (c) AFMもKFMも、プローブ先端の曲率半径が大きいほど高い面内分解能が期待できる。
- (d) AFMもKFMも測定環境の湿度 (試料表面に吸着する水分) に影響されにくい。
- (e) AFMは、雰囲気制御しながら導電性プローブを用いて電圧を印加することによって局所的な試料表面の加工 (酸化・エッチングなど) が可能となる。

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

解説：(技術 4 5) 解答 3
準備中

2010.4.30

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以下の 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. HREELS、プラズモン、CCD、屈折、荒れ

解説：(技術46) 解答 1 (基礎82 分析法各論99)
準備中

問47 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。

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と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 |

解説：(技術47) 解答 1 (分析法各論100)
準備中

問48 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。

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

解説：(技術48) 解答 1 (分析法各論101)

準備中

問49 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。

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 |

解説：(技術49) 解答 1 (分析法各論102)

準備中

問50 下記の技術のうち真空・減圧を利用しない技術はどれか。正しい記述を1~5より選びなさい。

- (a) 真空包装
- (b) 吸盤
- (c) 真空蒸発
- (d) 真空蒸留
- (e) 凍結乾燥、フリーズドライ
- (f) 魔法瓶
- (g) 真空パック
- (h) ブラウン管
- (i) 真空蒸着

- (j) 真空成膜
- (k) 蛍光灯

1. なし、 2. (b)のみ、 3. (b)(c)のみ、 4. (b)(c)(f)のみ、 5. (b)(c)(f)(g)

解説：(技術 5 0) 解答 1

準備中

問 5 1 真空の領域とその応用分野に関して、次のうち正しい記述を 1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 低真空 (大気圧～100Pa) – 圧力差利用 (真空包装・掃除機)
- (b) 中真空 (100Pa～0.1Pa) – 電子源、イオン源
- (c) 高真空 (0.1Pa～ 10^{-5} Pa) – 真空蒸着
- (d) 超高真空 (10^{-5} Pa～ 10^{-9} Pa) – 光電子分光
- (e) 極高真空 (10^{-9} Pa 以下) – スペースチャンバー (地上の宇宙実験施設)

1. すべて正しい、 2. 間違いは(b)、 3. 間違いは(c)、 4. 間違いは(b)(c)、
5. 間違いは(b)(e)

解説：(技術 5 1) 解答 5

準備中

問 5 2 大気圧から減圧してゆく過程で現れる現象に関して、次のうち正しい記述を 1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 水の沸点が低下する
- (b) 空気圧が減少する
- (c) 真空容器内外に圧力差が生じる
- (d) 音が聞こえなくなる
- (e) 断熱効果がある
- (f) 電気が絶縁できる
- (g) 真空紫外線が透過できる

1. すべて正しい、 2. 間違いは(b)、 3. 間違いは(f)、 4. 間違いは(g)、
5. 間違いは(f)(g)

解説：(技術 5 2) 解答 1

準備中

問 5 3 平衡状態にある真空容器内の気体分子の状態を述べている次の文章のうち正しい記述を 1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 分子同士あるいは分子と真空容器壁面の衝突を無数に繰り返している。
- (b) 気体は分子の集まりで 0℃、1 気圧の気体 1 モルは、いかなる種類のものでも 22.4ℓ の体積を占め、アボガドロ数 6.02×10^{23} 個の分子から成り立っている。
- (c) 真空容器内の気体分子は速度分布を持って運動している。
- (d) 真空容器内のすべての気体分子の速さは等しい。

1. すべて正しい、2. 間違いは(a)、3. 間違いは(b)、4. 間違いは(c)、
5. 間違いは(d)

解説：(技術 5 3) 解答 5

準備中

問 5 4 気体の圧力とは、どういうことか。次のうち正しい記述を 1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 圧力は、気体分子から器壁が受ける単位面積あたりの力の垂直成分の時間平均。
- (b) 大気の押す力の大きさは、 1 m^2 当たり 10 ton 重もある。
- (c) 圧力は、壁面に入射して跳ね返る気体分子が単位時間に壁面に与える単位面積あたりの力積。
- (d) 圧力は、壁に衝突する気体分子の数に比例する。
- (e) 圧力は、国際単位として、Pa、 N/m^2 、Torr のすべてが採用されている。

1. すべて正しい、2. 間違いは(b)、3. 間違いは(c)、4. 間違いは(d)、5. 間違いは(e)

解説：(技術 5 4) 解答 5

圧力の定義：巨視的には気体の圧力は気体が壁面の単位面積あたりに及ぼす力の垂直成分の時間平均であるが、微視的には壁面単位面積あたりに入射する気体分子が壁面に単位時間あたりに与える力積である。したがって圧力は壁に衝突する気体分子数に比例する。

圧力の単位系 (SI 国際単位)：圧力の国際単位は Pa (パスカル) であり、その次元は N/m^2 である。ここで N (ニュートン) は力の単位 ($\text{kg} \times \text{m/s}^2$) である。

従来は圧力の単位として Torr (トリチェリ) が用いられていた。(現在では慣用的に用いることはあるが、国際単位系の単位としては採用されていない。) この単位は、1 気圧のもとで水銀柱を 760 mm 押し上げ

ることが出来るので、1 気圧=760 mmHg=760 Torr となっている。

さらに、1 N (ニュートン) = $1\text{kg}\times 1\text{ m/s}^2=1/9.807\text{ kg 重}=0.1\text{ kg 重}$ なので、1 気圧=101.3 kPa では 1m^2 当り約 $10^4\text{ kg 重}=10\text{ ton 重}$ の力が加わっていることを表している。(大気の手す力については基礎 2 の解説を参照。)

問 5 5 超高真空を達成し、維持するのにベーキングは不可欠である。ベーキングの目的で、次のうち正しい記述を 1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 質の良い真空環境の実現
- (b) 到達圧力の達成
- (c) 漏れ探し
- (d) 蒸着に十分な平均自由行程の確保

1. すべて正しい、2. 間違いは(b)、3. 間違いは(c)、4. 間違いは(d)、
5. 間違いは(c) (d)

解説：(技術 5 5) 解答 5

準備中

問 5 6 表面分析装置の排気系のうち正しい記述はどれか。次のうち正しい記述を 1～5 の番号で答えなさい。

- (a) 補助ポンプとして RP (ローターポンプ) と TMP (ターボ分子ポンプ) を組み合わせ、主排気用ポンプ系としてイオンポンプと Ti ゲッターポンプとを組み合わせる。
- (b) 補助ポンプとして RP (ローターポンプ) を用い、主排気用ポンプ系として油拡散ポンプや、クライオポンプを使用する。
- (c) 補助ポンプとして RP (ローターポンプ) を用い、主排気用ポンプ系として TMP を組み合わせて用いる
- (d) 補助ポンプとして RP (ローターポンプ) と TMP (ターボ分子ポンプ) を組み合わせ、主排気用ポンプ系としてメカニカルブースタポンプを 2 段直列に組み合わせて用いる

1. すべて正しい、2. 間違いは(b)、3. 間違いは(c)、4. 間違いは(d)、
5. 間違いは(c) (d)

解説：(技術 5 6) 解答 4

準備中

問57 以下の 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。

走査電子顕微鏡(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

解説：(技術57) 解答 3 (分析法各論109)
準備中

問58 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)シリコンリチウム型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)

解説：(技術58) 解答 3 (分析法各論110)
準備中

問59 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以下の 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

る情報を得ることも可能である。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

解説：(技術 5 9) 解答 4 (分析法各論 1 1 6)
準備中

問 6 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以下の 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 CuK α 1 線と CuK α 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。その波長は(b) \square 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 α 1 線のみが取り出され、その波長は(e) \square 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	1.5418	単色化	平行化	1.54059
3.	白色 X 線	1.5418	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

解説：(技術 6 0) 解答 2 (分析法各論 1 1 7)
準備中

問 6 1 透過電子回折で試料から距離 L に置かれた平板スクリーン上で、回折図形を観察する。スクリーン上の中心スポットと回折スポットとの距離を r、その回折スポットに対応する試料結晶の格子面間隔を d、電子線の波長を λ とすると r と d の積、r d は

1. $\sqrt{\lambda L}$ 2. λL 3. λ/L 4. λ^2/L 5. L^2/λ

である。

解説：(技術 6 1) 解答 2

準備中

問 6 2 真空中の気体から真空容器の壁面の単位面積に単位時間当りに入射する分子数は $\Gamma = p/\sqrt{2\pi mkT}$ で表され、27°C 1Pa のもとではおよそ 1cm² 当り毎秒 3×10^{18} 個の分子が入射する。真空容器壁面に円形開孔があり理想的な真空ポンプが接続されている。理想的な真空ポンプは開孔に入射する気体分子を全て吸い込み、真空容器への気体分子の逆流が無いものである。接続されている理想的な真空ポンプの開孔面積が 80cm² (直径約 10cm の開孔) である場合、このポンプの排気速度は次のうちいずれが適切か？ (アボガドロ数を $6 \times 10^{23}/\text{mol}$ とする。)

1. 約 5 リットル/秒、
2. 約 40 リットル/秒、
3. 約 110 リットル/秒、
4. 約 400 リットル/秒、
5. 約 900 リットル/秒

解説：(技術 6 2) 解答 5

技術 3 の解説を参照。

圧力 p のもとで単位面積の真空容器壁に単位時間に入射する分子数は

$$\Gamma = p / (2\pi mkT)^{1/2}$$

である。容器壁に穴があいていて、面積 dS に入射した分子全てが空間から取り除かれるとする。このようなことは真空ポンプの開口部で生じる。面積 dS に入射した分子が逆流しない (理想的な真空ポンプの場合)、空間から取り除かれる分子数は時間 Δt の間に面積 dS に入射する分子数に等しい。単位面積に単位時間に入射する分子数は $\Gamma = (1/4)n\langle v \rangle = p / (2\pi mk_B T)^{1/2}$ 、これを単位体積当りの分子数 n で割れば、単位面積-単位時間に取り除かれる気体の体積、ポンプの開口部単位面積あたりの排気速度となる。

空気 (平均分子量 29) で温度 300K のとき、理想ポンプの排気速度は

$$\Gamma / n = \langle v \rangle / 4 = (k_B T / 2\pi m)^{1/2} = 11.6 [\text{l/s/cm}^2]$$

である。問題では開口部面積が 80cm² (直径約 10cm の開孔) であるので、排気速度は

$$\text{排気速度} = 11.6 [\text{l/s/cm}^2] \times 80 \text{cm}^2 = 928 [\text{l/s}]$$

となる。

問 6 3 真空中に残留する気体は理想気体の状態方程式 $p = nkT$ に従う。(p は圧力、 n は気体分子数密度、 k はボルツマン定数 $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 、 T は絶対温度) 10^{-4}Pa のときの気体分子数密度で最も適切なものはどれか？ (温度を 27°C とする。) 最も適切な分子数密度を 1-5 の番号で答えなさい。

1. $1.4 \times 10^{14} \text{m}^{-3}$ 、
2. $7.5 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ 、
3. $2.5 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ 、
4. $7.5 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$ 、
5. $2.5 \times 10^{22} \text{m}^{-3}$

解説：(技術 6 3) 解答 2

技術 3 の解説を参照。

$p = nkT = 10^{-4} \text{Pa} = n \times \text{数 } 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K} \times (273+27)$ より $n = 7.5 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ が得られる。