

材料科学 期末試験対策資料 (要点整理 & 穴埋め問題)

長野高専 電気電子工学科 5 年 34 番 氏名 柳原 魁人

2025 年 8 月 2 日

目次

1	オプトエレクトロニクス材料	2
1.1	要点まとめ	2
1.2	穴埋め練習問題	2
2	磁性材料	2
2.1	要点まとめ	2
2.2	穴埋め練習問題	3
3	超伝導材料	3
3.1	要点まとめ	3
3.2	穴埋め練習問題	3
4	炭素材料	3
4.1	要点まとめ	3
4.2	穴埋め練習問題	4
5	材料解析	4
5.1	要点まとめ	4
5.2	計算問題対策：ブラッグの法則	4
5.3	穴埋め練習問題	5
6	穴埋め練習問題 解答	6

1 オプトエレクトロニクス材料

1.1 要点まとめ

LED（発光ダイオード）は、**pn 接合**を持つ半導体デバイスである。

1. pn 接合に順バイアス電圧を印加する。
2. n 型半導体中の電子と p 型半導体中の正孔（ホール）が接合部に向かって移動する。
3. 接合部で両者が再結合する際に、その半導体材料のバンドギャップエネルギーに相当するエネルギーを光子として放出する。これが LED の発光原理である。
4. 発光する光の波長（色）はバンドギャップエネルギーの大きさで決まる。

1.2 穴埋め練習問題

LED は、() を持つ半導体デバイスである。この pn 接合に () 電圧をかけると、n 型領域の () と p 型領域の () が接合部で () する。このとき、物質固有の () エネルギーに相当するエネルギーが光子として放出され、発光する。

2 磁性材料

2.1 要点まとめ

- 磁性の起源: 原子内の電子が持つ 2 つの運動、すなわちスピンと軌道運動によって、原子は磁気モーメントを持つ。
- 磁性の種類:
 - 常磁性 外部磁場をかけると、磁気モーメントが磁場の向きに弱く整列し、磁石に引き付けられる。
 - 反磁性 外部磁場をかけると、磁場を打ち消す向きに磁化され、磁石に弱く反発する。
 - 強磁性 隣り合う磁気モーメントが自発的に同じ向きに強く整列し、外部磁場がなくても大きな自発磁化を持つ。特定の温度（キュリー温度）以上で常磁性になる。
 - 反強磁性 隣り合う磁気モーメントが互いに逆向きに整列し、全体の磁化が打ち消される。
 - フェリ磁性 逆向きに整列する磁気モーメントの大きさが異なり、正味の自発磁化が残る。
- ヒステリシス曲線: 強磁性体に加える外部磁場と磁化の関係を示す曲線。
 - 残留磁化 (M_r): 外部磁場をゼロにしても残る磁化。
 - 保磁力 (H_c): 残留磁化をゼロにするために必要な逆向きの磁場の強さ。
- 磁性材料の分類:
 - 軟質磁性材料 保磁力が小さい。小さな磁場で容易に磁化・消磁できる。トランスの鉄心などに使用。

硬質磁性材料 保磁力が大きい。一度磁化されると磁化を強く保持する。永久磁石として使用。

2.2 穴埋め練習問題

物質の磁性は、原子内の電子が持つ () と () という 2 つの運動に由来する磁気モーメントによって生じる。磁性にはいくつかの種類があり、外部磁場がない状態でも大きな磁化を持つものを () と呼ぶ。これは、隣り合う磁気モーメントが同じ向きに整列するためである。強磁性体の磁気特性は () 曲線によって評価される。外部磁場をゼロにしても残る磁化を ()、それを消すために必要な逆向きの磁場の強さを () と呼ぶ。保磁力が () 材料を軟質磁性材料、() 材料を硬質磁性材料（永久磁石）と分類する。

3 超伝導材料

3.1 要点まとめ

- **BCS 理論:** 低温で電子が 2 個ずつペアになったクーパー対を形成することが超伝導の原因であると説明する理論。
- **マイスナー効果:** 超伝導体が臨界温度以下になると、外部磁場を内部から完全に排除する現象。これにより完全反磁性を示す。
- **超伝導体の種類:**
 - 第一種超伝導体 単一の臨界磁界 (H_c) を持つ。 H_c を超えると超伝導状態が急に壊れる。
 - 第二種超伝導体 下部臨界磁界 (H_{c1}) と上部臨界磁界 (H_{c2}) を持つ。 H_{c1} と H_{c2} の間では、磁場が磁束として部分的に内部に侵入する混合状態となる。高い磁場の中でも超伝導を維持できるため、応用上重要。

3.2 穴埋め練習問題

特定の金属や化合物を極低温に冷却すると電気抵抗がゼロになる現象を超伝導という。このメカニズムは、電子がペアを組んだ () を形成することで説明される () 理論によって説明される。また、超伝導体は外部磁場を内部から完全に排除する () 効果を示し、完全反磁性体として振る舞う。超伝導体は磁場に対する振る舞いから 2 種類に分類される。() は単一の臨界磁界しか持たないが、() は 2 つの臨界磁界を持ち、その間の () と呼ばれる状態で高い磁場に耐えることができる。

4 炭素材料

4.1 要点まとめ

炭素原子の電子軌道が混じり合って新しい軌道を作ることを混成軌道という。

- **sp³ 混成軌道**: 1 つの s 軌道と 3 つの p 軌道から成り、正四面体の頂点方向を向く。この結合が三次元的に広がることで、非常に硬いダイヤモンドの構造が形成される。
- **sp² 混成軌道**: 1 つの s 軌道と 2 つの p 軌道から成り、同一平面上で 120° の角度をなす。この結合を持つ炭素原子が六角形の網目状平面（グラフェンシート）を作り、これが積層したものがグラファイトである。

4.2 穴埋め練習問題

炭素材料の多様性は、電子軌道の () に起因する。炭素原子が 4 つの等価な () 混成軌道を形成すると、それらは正四面体構造をとる。この結合様式によって作られる非常に硬い材料が () である。一方、3 つの等価な () 混成軌道を形成すると、炭素原子は平面的な六角形網目構造を作る。このシートが層状に重なったものが () である。

5 材料解析

5.1 要点まとめ

X 線回折 (XRD) わかること: 結晶構造の同定 (物質の特定)、格子定数の精密な決定、結晶性の評価、結晶子の大きさの算出。結晶質の平均的な構造情報を得るのに適している。

電子顕微鏡 • **走査型電子顕微鏡 (SEM)**: わかること: 試料表面の凹凸形状 (形態)。立体的な画像が得られる。

- **透過型電子顕微鏡 (TEM)**: わかること: 試料の内部構造。原子の配列や結晶の欠陥などを直接観察できる。

原子間力顕微鏡 (AFM) わかること: 試料表面の三次元的な凹凸形状をナノメートルスケールで測定。試料に導電性が不要で、大気中や液中でも測定可能。

5.2 計算問題対策：ブラッグの法則

X 線回折において、回折が起こる条件はブラッグの法則で与えられる。

ブラッグの法則

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

- n : 整数 (通常は 1)
- λ : X 線の波長
- d : 結晶の面間隔
- θ : X 線の入射角 (ブラッグ角)

例題: 波長が 0.154 nm の X 線を用いてある結晶を測定したところ、回折角 (2θ) が 30° の位置にピーク

が観測された。この結晶の面間隔 d を求めよ。解法: $2\theta = 30^\circ$ より、ブラッグ角 $\theta = 15^\circ$ である。 $n = 1$ としてブラッグの法則に代入すると、 $1 \times 0.154 \text{ nm} = 2 \times d \times \sin(15^\circ)$ $d = \frac{0.154}{2 \sin(15^\circ)} \approx \frac{0.154}{2 \times 0.2588} \approx 0.297 \text{ nm}$

5.3 穴埋め練習問題

1. 物質の結晶構造（原子がどのように周期的に並んでいるか）を調べる最も基本的な手法は（ ）である。
2. 試料表面のミクロな凹凸や形態を、立体感のある画像として観察したい場合は（ ）を用いる。
3. 結晶内部の原子の配列や、転位などの欠陥を直接観察するには、薄い試料を透過させる（ ）が適している。
4. 探針で試料表面をなぞり、原子レベルの凹凸を測定する顕微鏡は（ ）である。
この手法は、試料に（ ）がなくても測定でき、（ ）や液中でも観察可能という利点がある。

6 穴埋め練習問題 解答

1. オプトエレクトロニクス材料

pn 接合, 順バイアス, 電子, 正孔, 再結合, バンドギャップ

2. 磁性材料

スピン, 軌道運動, 強磁性, ヒステリシス, 残留磁化, 保磁力, 小さい, 大きい

3. 超伝導材料

クーパー対, BCS, マイスナー, 第一種超伝導体, 第二種超伝導体, 混合状態

4. 炭素材料

混成軌道, sp^3 , ダイヤモンド, sp^2 , グラファイト

5. 材料解析

1. X 線回折 (XRD) 2. 走査型電子顕微鏡 (SEM) 3. 透過型電子顕微鏡 (TEM) 4. 原子間力顕微鏡 (AFM), 導電性, 大気中

参考文献

[1] R7 期末の範囲スライド.pdf