

仕様書

1. 調達の内容

- | | |
|----------|---|
| (1) 調達件名 | 薄膜X線回折装置一式の購入 |
| (2) 機器名 | 薄膜X線回折装置 |
| (3) 納入場所 | 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185 番地
高知工科大学（香美キャンパス）教育研究棟 C 棟 |
| (4) 納入期限 | 令和 9 年 3 月 31 日（水）まで |

2. 目的・用途

薄膜デバイスでは、薄膜材料の結晶状態、配向性、基板と薄膜の格子歪など、薄膜の結晶学的性質が物性やデバイス特性に大きく影響する。一方、格子歪を積極的に利用して薄膜の結晶成長を制御する研究も進展している。酸化物半導体薄膜デバイスでは、非晶質状態からの固相結晶化によって高移動度薄膜トランジスタが実現されており、非晶質からの結晶化プロセスをいかに制御するかが重要な技術課題となっている。このように、薄膜技術に基づく材料・デバイス研究開発において、X線回折による結晶構造評価は必要不可欠な評価技術であり、薄膜評価法として定着している。当該「薄膜X線回折装置」では、ガラス基板や非結晶性基板上の多結晶薄膜、非晶質薄膜、および、単結晶基板上的エピタキシャル薄膜について、室温または加熱環境下においてX線回折、面内X線回折を測定できることが要求される。また、極薄膜試料の測定も可能とする十分なX線強度を発生させること、使用者の熟練度に強く依存せずに、各々の薄膜評価に最適な分解能で、高い再現性をもって測定することが要求される。

3. 機器の構成・機能・条件

(1) 機器構成

- | | |
|------------|----|
| 1) X線発生装置部 | 一式 |
| 2) 防X線カバー部 | 一式 |
| 3) ゴニオメータ部 | 一式 |
| 4) 入射光学系部 | 一式 |
| 5) 試料ステージ部 | 一式 |
| 6) 受光光学系部 | 一式 |
| 7) 検出器部 | 一式 |
| 8) 制御・解析部 | 一式 |
| 9) 送水装置部 | 一式 |

(2) 調達物品の備えるべき機能と技術的要件

- 1) X線発生装置部

- a. X線発生装置の方式は、強いX線強度が得られる回転対陰極式とすること。
- b. X線ターゲット（アノード材質）は Cu（銅） とすること。
- c. Cu（銅）において最大定格出力は 6 kW 以上とすること。
- d. 管電圧および管電流の安定度は $\pm 0.1\%$ 以内であること。
- e. X線の発生を物理的に閉鎖する電磁シャッタを備えていること。
- f. 装置の保安機構として、以下の項目を備えていること。
 - ・過負荷異常検出
 - ・真空異常検出
 - ・冷却水の水量、水圧、水温の異常検出
 - ・緊急停止スイッチ
 - ・漏電ブレーカー

2) 防X線カバー部

- a. 開閉扉はインターロック機構付きであること。
- b. X線漏洩が法令基準以下となるよう設計されていること。
- c. X線発生中を示す表示灯を備えており、高電圧（HV）印加時に自動点灯すること。

3) ゴニオメータ部

- a. 試料水平型の $\theta - \theta$ 型ゴニオメータを用いること。
- b. X線管球軸および検出器軸が可動軸であること。
- c. 可動軸の駆動制御は、主軸に直結したエンコーダによる制御方式とすること。
- d. 可動軸の最小送り幅は 0.0001° 以下であること。
- e. 2 θ 換算での可動範囲が $-10^\circ \sim 160^\circ$ を含むこと。
- f. 高分解能測定のため、ゴニオメータ半径は 260 mm 以上とすること。
- g. 面相（In-plane）測定用アームは専用軸を備え、試料水平状態のまま In-plane 測定が可能であること。

4) 入射光学系部

- a. 集中法光学系と平行ビーム光学系を切り替える機構を備えていること。
- b. 平行ビーム光学系により平行化されたビームを、点集光させることが可能であること。
- c. Ge(220) 2結晶モノクロメータおよび Ge(220) 4結晶モノクロメータを備え、これらを用いた高分解能測定が可能であること。

5) 試料ステージ部

- a. 試料ステージは、水平に配置した試料に対し、試料上下軸／試料あおり軸／試料回転軸を備え、試料の位置および角度調整が可能であること。

- b. 上記 a. の試料ステージに実装可能であり、結晶軸立て用の調整軸をもつステージを備えていること。
- c. 上記 a. の試料ステージに実装可能であり、2次元検出器を用いた斜入射 2次元反射測定に対応し、Apertureスリットを用いて高強度かつ高分解能な測定が可能な試料ステージを備えていること。
- d. 上記 a. の試料ステージに実装可能であり、試料面内方向に直交する二つの移動軸（X、Y）を備え、各移動軸の可動域が $\pm 50\text{ mm}$ 以上である試料ステージを有すること。
- e. 温度可変用ステージを用いた測定が可能であること。
 - ・ 設定温度：室温 ～ $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - ・ 測定雰囲気：大気、真空、不活性ガスに対応していること
 - ・ X線窓：ドーム状グラファイト製であること
 - ・ 冷却方式：圧縮空気による空冷方式であること

6) 受光光学系部

- a. Ge (220) 2結晶受光アナライザを用いた高分解能測定が可能であること。

7) 検出器部

- a. フォトンカウンティング方式の2次元検出器を用いていること。
- b. 0次元／1次元／2次元の各検出モードを、制御ソフトウェアから切り替えて使用できること。
- c. ピクセルサイズは、 $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ であること。
- d. ピクセル数は、200,000ピクセル以上であること。
- e. 有効検出面積が $2,900\text{ mm}^2$ 以上であること。
- f. センサの検出効率、CuK α において 99%以上であること。
- g. エネルギー分解能は、CuK α において 20%以下であること。

8) 制御・解析部

- a. 制御解析用 PC の仕様は以下のとおりとすること。
 - ・ CPUは、Intel 社製 Core i5 相当以上であること。
 - ・ OSは、Microsoft 社製 Windows 11 (64bit) 相当以上であること。
 - ・ メモリは、32 GB 以上であること。
 - ・ 内部ストレージは、512 GB 以上の SSD と 1 TB 以上の HDD を備えていること。
 - ・ モニターは、23 インチ以上の液晶モニターであること。
- b. 制御ソフトウェアは以下の機能を備えていること。

- ・ 1) X線発生装置部、 3) ゴニオメータ部、 4) 入射光学系部、 5) 試料台部、 6) 受光光学系部、 7) 検出器部について、制御ソフトウェアから各部の動作、設定を制御できる機能を備えていること。
- ・ 3) ゴニオメータ部において、X線管球回転軸、検出器回転軸、および、In-plane 測定用専用軸の各軸について自動角度調整機能を備えていること。
- ・ 4) 入射光学系部において、放物面多層膜ミラー、Ge(220) 2結晶モノクロメータ、および Ge(220) 4結晶モノクロメータについて、自動角度調整機能を備えていること。
- ・ 5) 試料ステージにおいて、試料の上下軸、あおり角軸、および、回転軸について、自動試料位置調整機能を備えていること。
- ・ X線回折測定、X線反射率 (XRR) 測定、ロッキングカーブ (RC) 測定、逆格子マッピング (RSM) 測定、および極図形 (Pole Figure) 測定に対して、測定条件設定や測定手順を案内するガイダンス機能を備えていること。
- c. 解析ソフトウェアは、以下の解析機能を備えていること。
 - ・ プロファイル関数を用いたピーク分離機能、および、結晶子サイズとその分布の解析機能
 - ・ X線反射率 (XRR) 解析による膜厚・密度・ラフネスの算出機能
 - ・ ロッキングカーブ (RC) 解析による膜厚・組成の算出機能
 - ・ 逆格子マッピング (RSM) 解析機能
 - ・ 極図形 (Pole Figure) 解析機能
- d. 解析ソフトウェアライセンスは、同一ネットワーク上の PC において最大 10 台まで同時起動が可能なライセンス方式 (USB ドングル等) であること。

9) 送水装置部

- a. 冷却能力は 9kWとすること。
- b. 冷却方式は水冷式であること。
- c. 冷却水安定度は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内であること。

(3) その他 (納入条件等)

- ・ 納品前に担当者と上記仕様等について打ち合わせ等を実施すること。
- ・ 搬入等の日程、納品場所、作業計画については、担当者と協議し指示に従うこと。
- ・ 設置後、当該機器の取り扱い説明等を行うこと。
- ・ 納品の際に発生する梱包材等は、受注者が責任を持って処分を行うこと。