

中华人民共和国国家标准

GB/T 43915—2024

纳米几何量标准样板测试方法

Testing method for nano geometric standard samples

2024-04-25发布

2024-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试方法分类及原理 1

 4.1 纳米线间隔标准样板测试方法分类及原理 1

 4.2 纳米线宽标准样板测试方法分类及原理 2

 4.3 纳米台阶高度标准样板测试方法分类及原理 2

 4.4 纳米膜厚标准样板测试方法分类及原理 3

5 测试设备 5

 5.1 设备选择 5

 5.2 设备要求 5

6 测试环境 6

7 测试程序 6

 7.1 外观 6

 7.2 纳米线间隔标准样板测试 6

 7.3 纳米线宽标准样板测试 6

 7.4 纳米台阶高度标准样板测试 6

 7.5 纳米膜厚标准样板测试 7

8 测试数据处理 7

 8.1 纳米线间隔标准样板测试数据处理 7

 8.2 纳米线宽标准样板测试数据处理 7

 8.3 纳米台阶高度标准样板测试数据处理 7

 8.4 纳米膜厚标准样板测试数据处理 7

附录 A（资料性） 标准样板测试记录 9

参考文献 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国量具量仪标准化技术委员会(SAC/TC 132)归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第十三研究所、成都工具研究所有限公司、中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、上海计量测试技术研究院、同济大学、天津大学、中国计量科学研究院、广西壮族自治区计量检测研究院、中国测试技术研究院、苏州天准科技股份有限公司。

本文件主要起草人：吴爱华、付兴昌、李锁印、许晓青、邹学锋、韩志国、赵琳、张晓东、冯亚南、梁法国、许刚、何宜鲜、朱振宇、李强、万宇、雷李华、傅云霞、曾艳华、管钰晴、邓晓、刘庆纲、张恒、施玉书、苏翼雄、冉庆、曹葵康。

纳米几何量标准样板测试方法

1 范围

本文件规定了纳米几何量标准样板测试方法的分类及原理、测试设备、测试环境、测试程序及测试数据处理。

本文件适用于线间隔为50nm~100nm 的纳米线间隔标准样板、线宽为20 nm~100 nm 的纳米线宽标准样板、台阶高度为10 nm~100 nm 的纳米台阶高度标准样板和薄膜厚度为2 nm~100 nm 的纳米膜厚标准样板的测试。

注：其他尺寸范围的几何量样板参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T17163 几何量测量器具术语 基本术语

GB/T39516—2020 微纳米标准样板(几何量)

3 术语和定义

GB/T17163、GB/T 39516—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

纳米几何量标准样板 nano geometric standards

具有纳米尺度的线间隔、线宽、台阶高度及薄膜厚度等几何特征结构，用于纳米尺寸测量的标准样板。

4 测试方法分类及原理

4.1 纳米线间隔标准样板测试方法分类及原理

4.1.1 纳米线间隔标准样板测试方法分类

测试方法分为以下两类：

- a) 电子显微镜法；
- b) 扫描探针法。

4.1.2 电子显微镜法测试原理

利用经聚焦的、具有一定能量的电子束在标准样板表面扫描，可激发出二次电子、背反射电子等各种信号，图像采集系统和数据处理系统将这些信号接收处理之后，即得到标准样板的特征信息。电子显微镜法测试原理见图1。

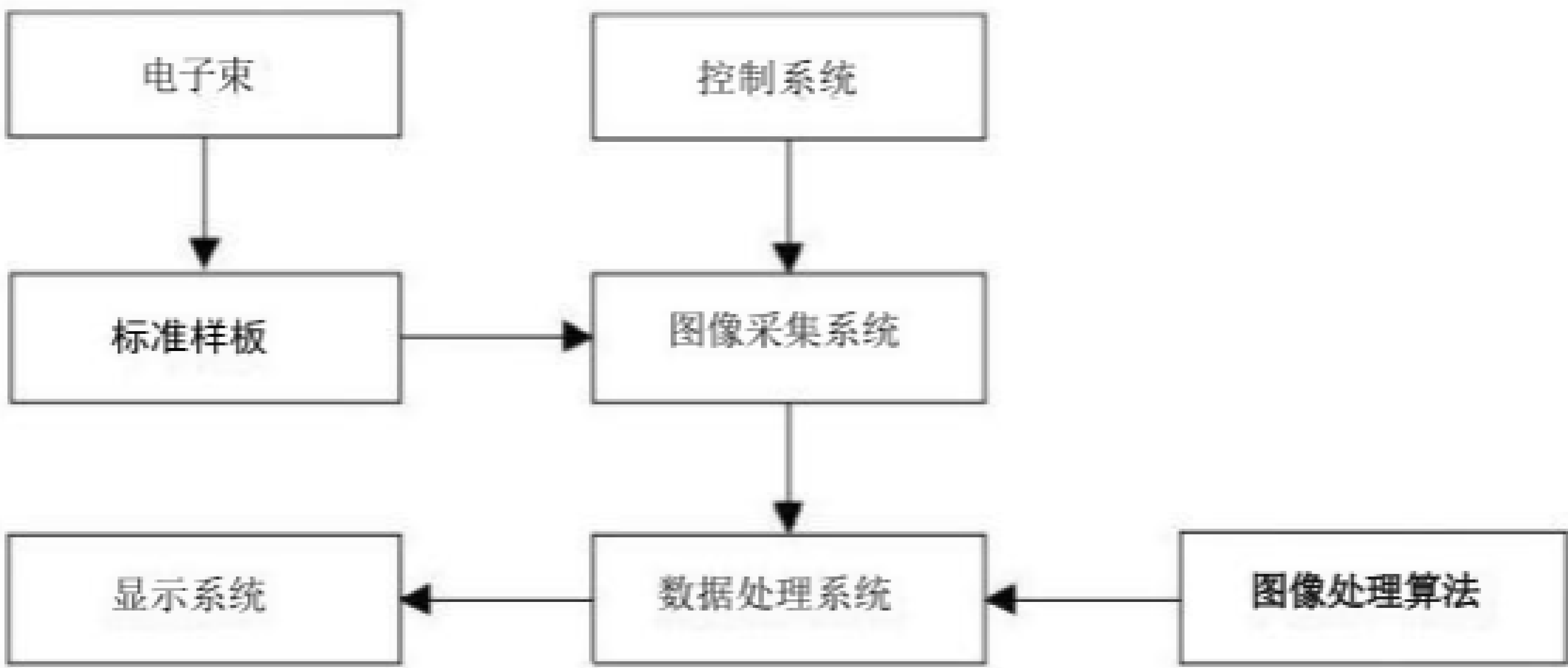


图 1 电子显微镜法测试原理图

4.1.3 扫描探针法测试原理

采用探针扫描标准样板表面，通过传感器将探针位移信号转换为电信号，经数据采集及处理系统得到标准样板的特征信息。扫描探针法测试原理见图2。

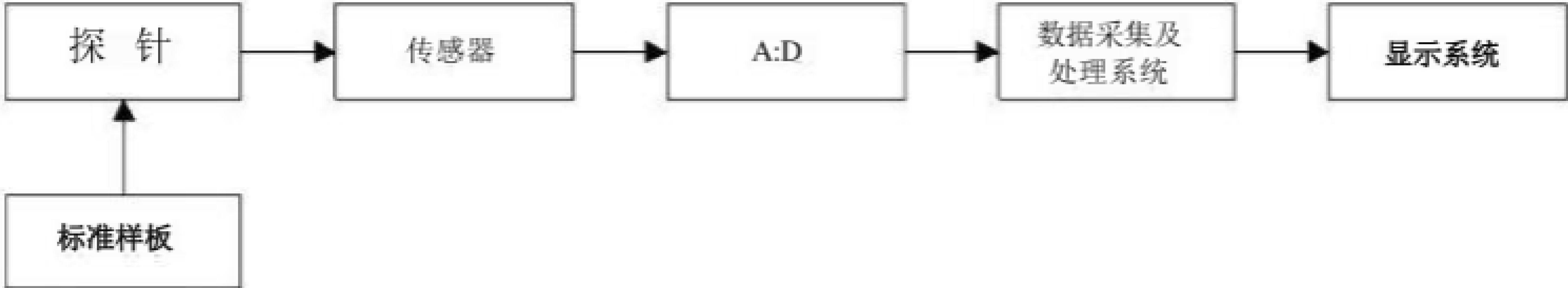


图 2 扫描探针法测试原理图

4.2 纳米线宽标准样板测试方法分类及原理

4.2.1 纳米线宽标准样板测试方法分类

测试方法分为以下两类：

- a) 电子显微镜法；
- b) 扫描探针法。

4.2.2 电子显微镜法测试原理

电子显微镜法测试原理见图1。

4.2.3 扫描探针法测试原理

扫描探针法测试原理见图2。

4.3 纳米台阶高度标准样板测试方法分类及原理

4.3.1 纳米台阶高度标准样板测试方法分类

测试方法分为以下三类：

- a) 扫描探针法；
- b) 光学显微干涉法；
- c) 共焦显微术法。

4.3.2 扫描探针法测试原理

扫描探针法测试原理见图2。

4.3.3 光学显微干涉法测试原理

光学显微干涉法测试原理见图3。由光源发出相干光，分光镜将相干光分开沿着不同的路径传播，一束由参考面返回，一束由标准样板被测面返回，两束相干光发生干涉，从而得到纳米台阶高度标准样板的特征信息。

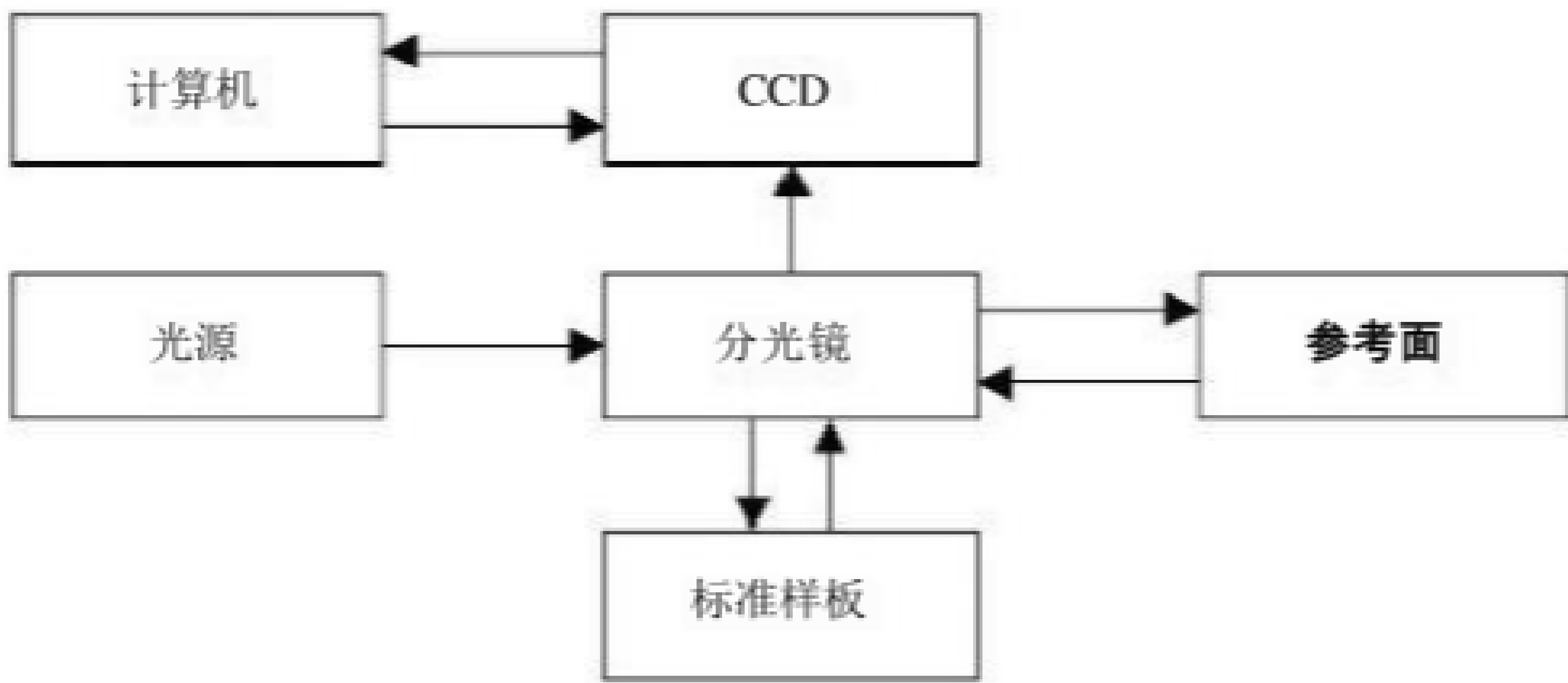


图 3 光学显微干涉法测试原理图

4.3.4 共焦显微术法测试原理

共焦显微术法测试原理见图4。激光器光源通过光阑1, 经物镜聚焦于标准样板表面，从表面反射回的光经分光镜成像于光阑2后的探测器上。当物体处于焦平面时，光全部通过光阑2, 探测器接收能量最大；当物体偏离焦平面时，部分光被光阑2屏蔽，探测器接收的光能量减弱，探测器上光强度的变化反映标准样板偏离焦平面的大小。通过有效零光程差点提取，计算得到标准样板的特征信息。

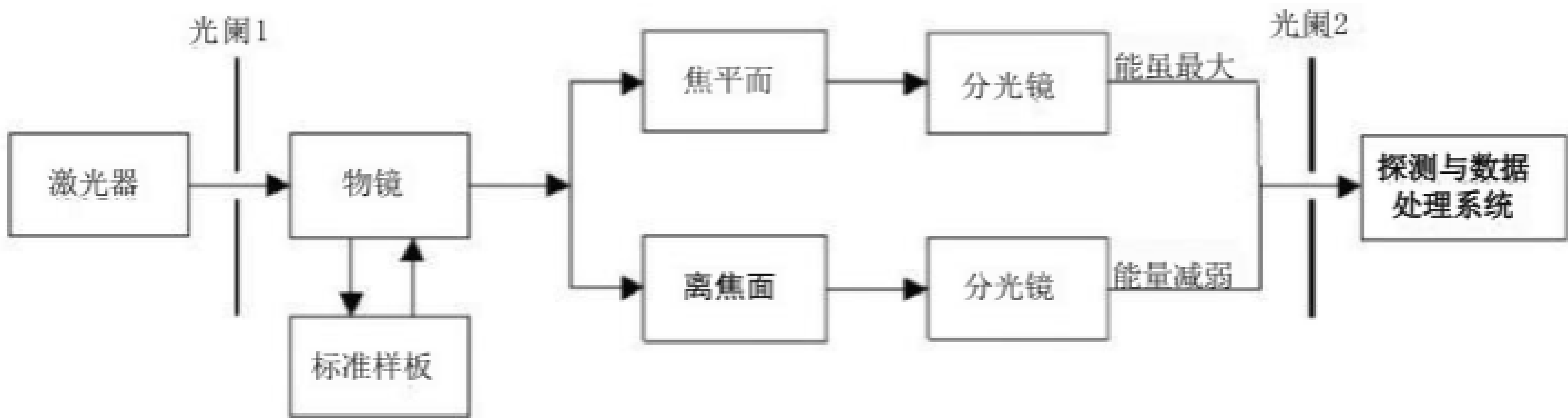


图 4 共焦显微术法测试原理图

4.4 纳米膜厚标准样板测试方法分类及原理

4.4.1 纳米膜厚标准样板测试方法分类

测试方法分为以下三类：

- a) 偏振法；
- b) 光谱法；
- c) X射线法。

4.4.2 偏振法测试原理

偏振法测试原理见图5。利用偏振光在薄膜上下表面的反射，通过菲涅尔公式得到光学参数和偏振态之间的关系来确定薄膜的折射率和厚度。



图 5 偏振法测试原理图

4.4.3 光谱法测试原理

光谱法测试原理见图6。基于光的干涉理论，依据标准样板上薄膜与基底再到薄膜界面上的光束的透射或反射，引起双光束或多光束干涉效应，不同特性的薄膜具有不同的光谱反射率或透射率，通过光谱分析方法计算得到薄膜的厚度。

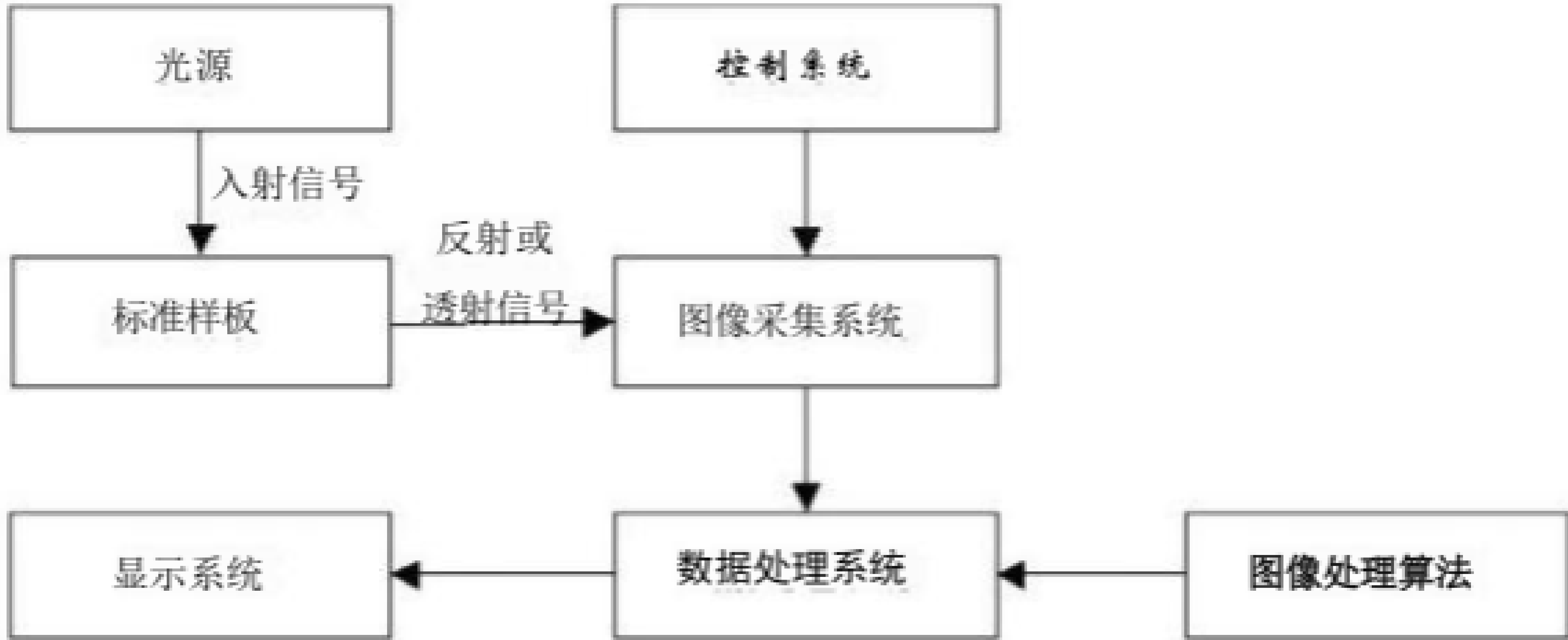


图6 光谱法测试原理图

4.4.4 X 射线法测试原理

X射线法测试原理见图7。真空环境下，利用X 射线作为激发源与标准样板相互作用，通过分析标准样板反射出来的射线或者具有能量特征的电子，达到分析标准样板特征信息的目的。

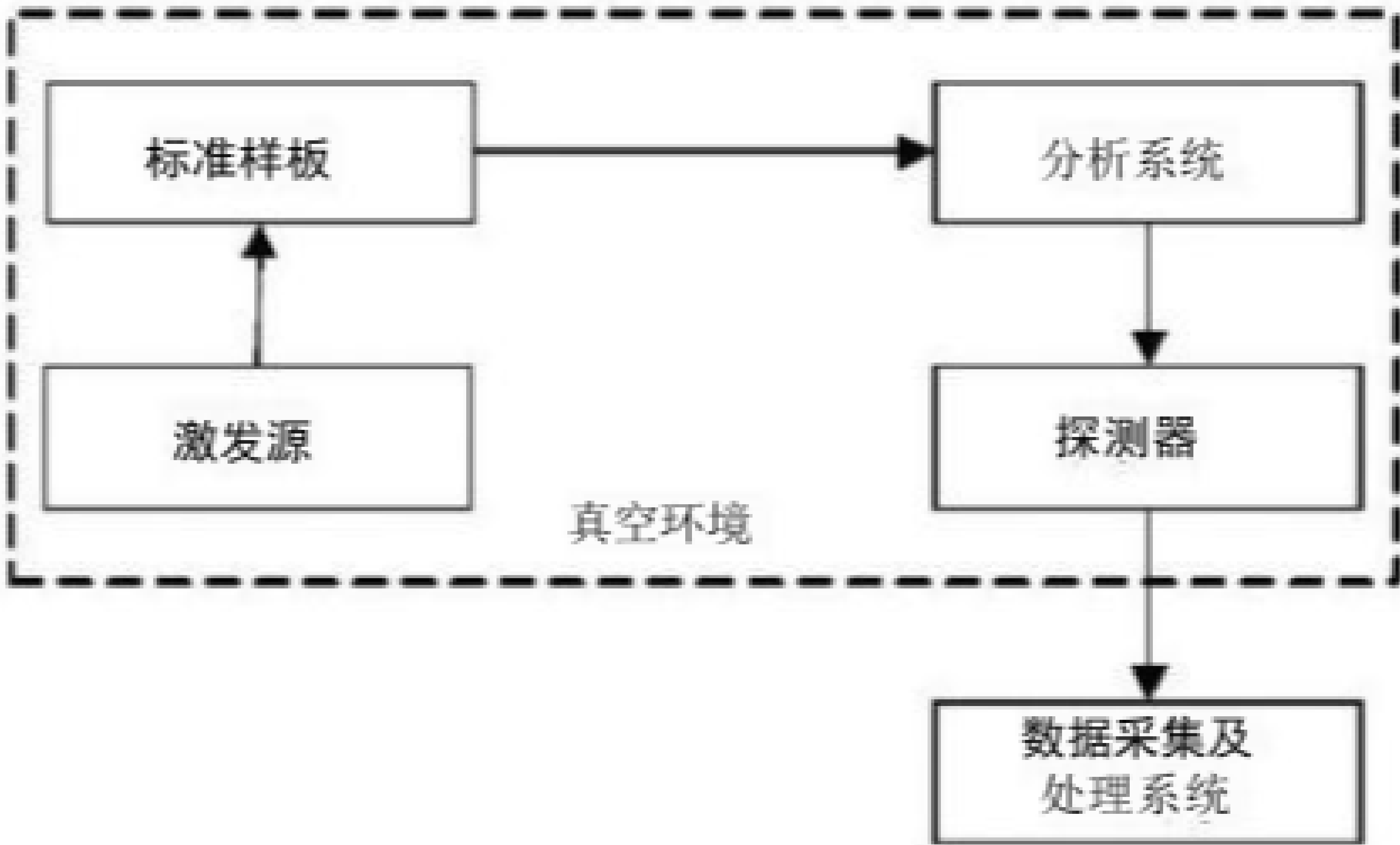


图 7 X 射线法测试原理图

5 测试设备

5.1 设备选择

纳米几何量标准样板的常用测试设备见表1。

表1 纳米几何量标准样板的常用测试设备

纳米几何量 标准样板类型	测试方法	测试设备
线间隔	电子显微镜法	扫描电子显微镜、关键尺寸扫描电子显微镜、计量型扫描电子显微镜
	扫描探针法	原子力显微镜、计量型原子力显微镜
线宽	电子显微镜法	扫描电子显微镜、关键尺寸扫描电子显微镜、计量型扫描电子显微镜
	扫描探针法	原子力显微镜、计量型原子力显微镜
台阶高度	扫描探针法	台阶仪、原子力显微镜、计量型原子力显微镜
	光学显微干涉法	白光干涉仪
	共焦显微术法	激光共焦显微镜
膜厚	偏振法	椭偏仪
	光谱法	膜厚测量仪
	X射线法	X射线光电子能谱仪、X射线反射谱仪、X射线衍射仪
注：测试设备不局限于表中所列设备，亦能选择满足测试要求的其他设备。		

5.2 设备要求

纳米几何量标准样板的测试设备应符合表2的规定。

表 2 纳米几何量标准样板的测试设备要求

序号	名称	技术要求	用途
1	扫描电子显微镜	分辨力优于5nm	纳米量级的线间隔、线宽或台阶高度标准样板的测试
2	关键尺寸扫描电子显微镜	分辨力优于5 nm	
3	计量型扫描电子显微镜	分辨力优于5 nm	
4	原子力显微镜	垂直分辨力和水平分辨力优于1nm	
5	计量型原子力显微镜	垂直分辨力和水平分辨力优于1nm	
6	台阶仪	分辨力优于1 nm	
7	白光干涉仪	分辨力优于1 nm	
8	激光共焦显微镜	分辨力优于1 nm	
9	椭偏仪	测量重复性优于0.5 nm	纳米膜厚标准样板的测试
10	膜厚测量仪	测量重复性优于0.5 nm	
11	X射线光电子能谱仪	测试设备技术要求的信息见GB/T 19500	
12	X射线反射谱仪	测试设备技术要求的信息见GB/T36053—2018	
13	X射线衍射仪	2θ角示值误差在±0.02° 以内	

6 测试环境

环境温度应为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 温度变化不大于 $\pm 1^{\circ}\text{C}/\text{h}$, 相对湿度不大于80%, 洁净度优于ISO 6级(含6级), 将仪器安装于防震地基上, 不应有影响测试的振动。

纳米几何量标准样板应在实验室环境下恒温半小时后进行测试。

7 测试程序

7.1 外观

使用光学显微镜对纳米几何量标准样板进行外观检查, 标准样板不应有影响使用性能的划痕、断线等缺陷。

7.2 纳米线间隔标准样板测试

按第4章给出的方法, 采用以下步骤进行测试:

- a) 将纳米线间隔标准样板放置于样品托盘上, 并送入测试设备内部;
- b) 调整测试设备, 使被测标准样板成像清晰;
- c) 纳米线间隔标准样板有效工作区的核心区域(O) 为测量区域, 选取不少于10个周期的线间隔长度, 对线间隔进行不少于3次的重复测试, 测试示意图见图8, 记录测试数据, 记录格式见附录A。

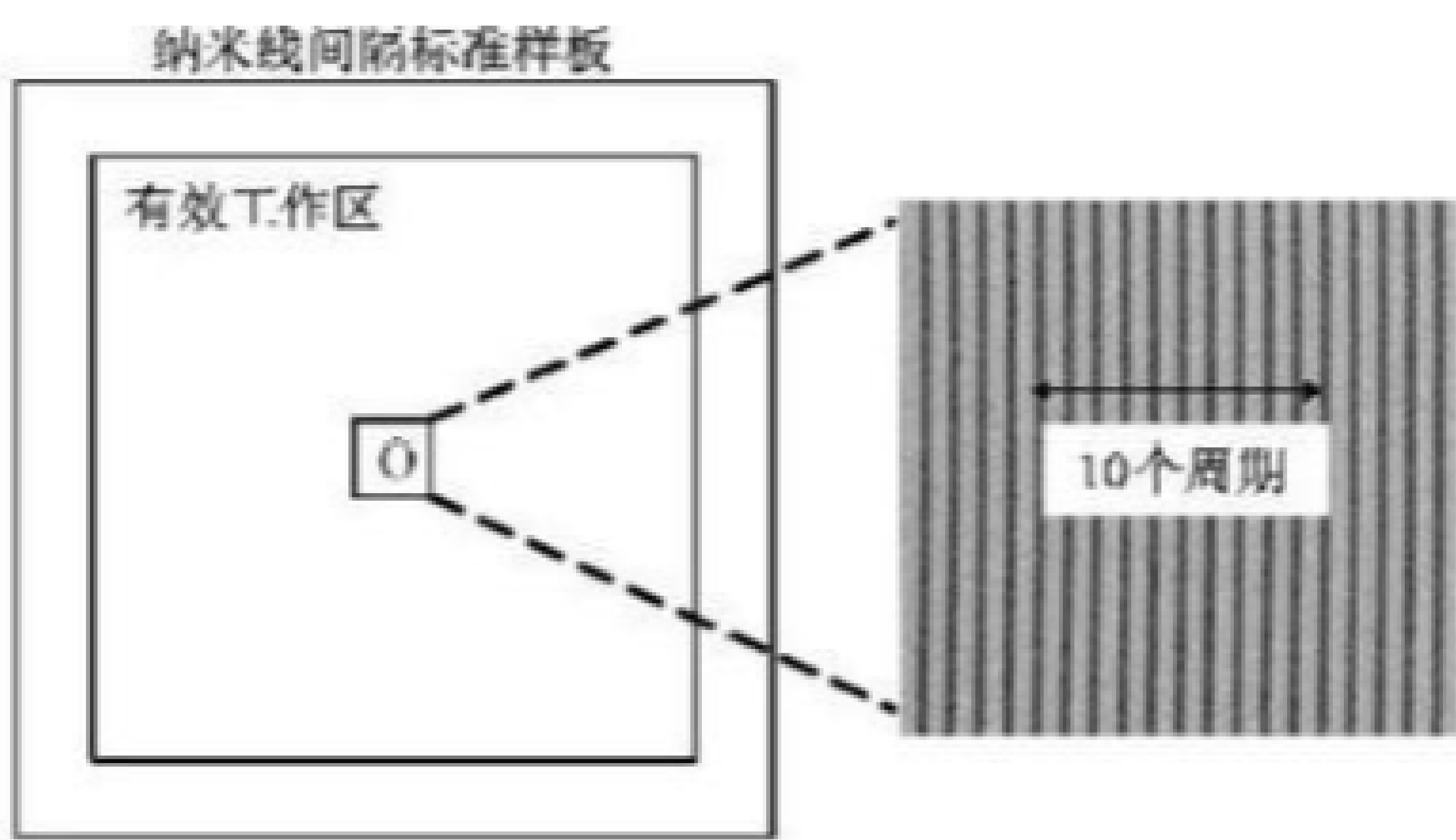


图 8 纳米线间隔标准样板测试示意图

7.3 纳米线宽标准样板测试

按第4章给出的方法, 采用以下步骤进行测试:

- a) 将纳米线宽标准样板放置于样品托盘上, 并送入测试设备内部;
- b) 调整测试设备, 使被测标准样板清晰成像;
- c) 纳米线宽标准样板有效工作区的线条核心区域为测量区域, 对单个线条进行不少于3次的重复测试, 记录测试数据, 记录格式见附录A。

7.4 纳米台阶高度标准样板测试

按第4章给出的方法, 采用以下步骤进行测试:

- a) 将纳米台阶标准样板放置于样品托盘上, 并送入测试设备内部;
- b) 调整测试设备, 使被测标准样板清晰成像;

- c) 纳米台阶标准样板有效工作区的核心区域为测量区域，对台阶高度进行不少于3次的重复测试，记录测试数据，记录格式见附录 A。

7.5 纳米膜厚标准样板测试

按第4章给出的方法，采用以下步骤进行测试：

- a) 将纳米膜厚标准样板放入测试设备指定位置；
- b) 纳米膜厚标准样板有效工作区的核心区域为测量区域，对薄膜厚度进行不少于3次的重复测试，记录测试数据，记录格式见附录 A。

8 测试数据处理

8.1 纳米线间隔标准样板测试数据处理

按公式(1)计算纳米线间隔测试值：

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{mn}$$

..... (1)

式中：

- P ——标准样板线间隔测试值，单位为纳米(nm)；
- P_i—— 标准样板核心区域位置n 个周期线间隔的第m 次测得值，单位为纳米(nm)；
- m ——测得值次数，m≥3；
- n —— 间隔的周期数，n≥10。

8.2 纳米线宽标准样板测试数据处理

按公式(2)计算纳米线宽测试值：

$$W = \frac{\sum_{i=1}^m W_i}{m}$$

..... (2)

式中：

- W ——标准样板线宽测试值，单位为纳米(nm)；
- W_i—— 标准样板线条核心区域位置的第i 次测得值，单位为纳米(nm)；
- m ——测得值次数，m≥3。

8.3 纳米台阶高度标准样板测试数据处理

按公式(3)计算纳米台阶高度测试值：

$$H = \frac{\sum_{i=1}^m H_i}{m}$$

..... (3)

式中：

- H ——标准样板台阶高度测试值，单位为纳米(nm)；
- H_i—— 标准样板中心线位置的第i 次测得值，单位为纳米(nm)；
- m ——测得值次数，m≥3。

8.4 纳米膜厚标准样板测试数据处理

按公式(4)计算纳米膜厚测试值：

$$D=\frac{\sum_{i=1}^mD_i}{m}$$

.....(4)

式中：

D —— 标准样板膜厚测试值，单位为纳米(nm)；

D_i—— 标准样板中心位置的第i 次测得值，单位为纳米(nm)；

m —— 测得值次数，m≥3。

附 录 A
(资料性)
标准样板测试记录

标准样板测试记录的相关信息见表 A.1。

表 A.1 标准样板测试记录

名称			编号	
时间			地点	
温度			相对湿度	
测得值/nm				
	2			
	3			
测试值/nm				

参 考 文 献

[1] GB/T17164 几何量测量器具术语 产品术语

[2] GB/T19500—2004 X 射线光子能谱分析方法通则

[3] GB/T 36053—2018 X 射线反射法测量薄膜的厚度、密度和界面宽度 仪器要求、准直和定位、数据采集、数据分析和报告
