

T/ZIUR

浙江省产学研合作促进会团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

超精密平面磨床在半导体材料加工中的应用指南

Application guide for ultra-precision surface grinders in semiconductor material processing

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

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 加工质量目标	2
4.1 硅片加工质量目标	2
4.2 碳化硅衬底加工质量目标	2
4.3 蓝宝石窗口片加工质量目标	2
4.4 氮化镓及其他硬脆材料加工质量目标	2
4.5 典型半导体材料磨削质量目标	2
5 设备性能要求	3
5.1 一般要求	3
5.2 主轴精度	3
5.3 进给系统分辨率	3
5.4 热稳定性	3
5.5 振动控制特性	3
5.6 超精密平面磨床等级划分	4
6 加工环境要求	4
6.1 温度控制	4
6.2 湿度控制	4
6.3 空气洁净度	4
6.4 地基振动限制	4
6.5 电磁干扰控制	4
6.6 超精密磨削环境要求	4
7 工艺设计指南	5
7.1 工艺设计流程	5
7.2 分段磨削方案制定	5
7.3 砂轮选择与配置	5
7.4 工艺参数确定	6
7.5 工艺验证与优化	6
8 在线监测与过程控制	6
8.1 监测参数选择	6
8.2 传感器配置要求	6
8.3 数据采集与记录	6
8.4 异常识别与处理	7
9 设备操作与维护	7
9.1 操作人员能力要求	7

9.2	设备校准周期	7
9.3	冷却液管理	7
9.4	砂轮修整与更换	7
9.5	安全防护	8
附录 A	(资料性) 超精密平面磨床典型应用案例	9
A.1	硅片减薄与背面研磨应用案例	9
A.2	碳化硅衬底平整化与损伤层去除应用案例	9
A.3	蓝宝石窗口片超精密磨削应用案例	9
A.4	氮化镓晶片超精密磨削应用案例	9
附录 B	(资料性) 常见磨削缺陷与处理措施	11
B.1	常见磨削缺陷与处理措施汇总	11

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。

本文件由任丘典晟科技有限公司提出。

本文件由浙江省产学研促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

超精密平面磨床在半导体材料加工中的应用指南

1 范围

本文件规定了超精密平面磨床在半导体材料加工应用中的加工质量目标、设备性能要求、加工环境要求、工艺设计指南、在线监测与过程控制以及设备操作与维护等方面的指导。

本文件适用于以卧轴矩台平面磨床为主体，对硅片、碳化硅衬底、蓝宝石窗口片、氮化镓衬底及其他硬脆半导体材料进行减薄、平整化及损伤层去除的工艺设计、设备选型与过程控制。

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/T 4022.1 卧轴矩台平面磨床 精度检验 第1部分：工作台面长度至1600 mm的机床

GB/T 12965 硅单晶切割片和研磨片

GB/T 14124 机械振动与冲击 固定建筑结构的振动 振动测量及对结构影响评价的指南

GB/T 17421.1 机床检验通则 第1部分：在无负荷或准静态条件下机床的几何精度

GB/T 17421.2 机床检验通则 第2部分：数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定

GB/T 17421.3 机床检验通则 第3部分：热效应的确定

GB/T 25915.1 洁净室及相关受控环境 第1部分：空气洁净度等级

GB/T 29508 300 mm硅单晶切割片和磨削片

GB/T 40810.1 产品几何技术规范（GPS）生产过程在线测量 第1部分：几何特征（尺寸、表面结构）的在线检测与验证

GB/T 50269 地基动力特性测试规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超精密平面磨床 ultra-precision surface grinding machine

通过高精度主轴、纳米级进给分辨率和主动振动控制，能够对半导体晶片表面进行材料去除，并达到亚微米级面型精度和纳米级表面粗糙度的卧轴矩台平面磨床。

3.2

材料去除率 material removal rate (MRR)

单位磨削时间内从工件表面去除的材料体积或厚度。

3.3

亚表面损伤层深度 subsurface damage depth (SSD)

磨削加工在工件表面以下引起的裂纹、位错、非晶化等结构损伤层沿垂直于加工面方向的尺度。

3.4

边缘崩裂 edge chipping

磨削过程中，在晶片边缘产生的局部材料崩落现象。

3.5

总厚度变化 total thickness variation (TTV)

晶片在规定的测量区域内，最大厚度与最小厚度之差。

3.6

局部平整度 local thickness variation (LTV)

晶片在规定尺寸的局部区域内，最大厚度与最小厚度之差。

3.7

分段磨削 step grinding

将磨削过程划分为粗磨、精磨等若干阶段，各阶段采用不同粒度的砂轮和工艺参数，以兼顾材料去除效率和表面质量的加工策略。

3.8

砂轮修整 wheel dressing

通过去除砂轮表层磨粒或结合剂，使砂轮工作表面恢复正确几何形状和锋利度的操作。

3.9

空气静压主轴 aerostatic spindle

以压缩空气为润滑介质，通过节流孔在主轴与轴承之间形成气膜，实现无接触支承的高精度主轴。

4 加工质量目标

本章规定的加工质量目标是超精密平面磨床选型和性能要求的输入依据。

4.1 硅片加工质量目标

4.1.1 表面粗糙度

精磨后硅片表面粗糙度Ra应不大于5 nm，测量区域不小于10 μm×10 μm。检测方法与合格判定按GB/T 29508执行。

4.1.2 亚表面损伤层深度

硅片精磨后亚表面损伤层深度（SSD）应不大于1.0 μm。SSD的评价可采用截面显微观测或角度抛光法，按GB/T 12965中给出的方法进行。

4.1.3 边缘崩裂限值

4.1.3.1 磨削后硅片边缘不应出现崩裂。

4.1.3.2 300 mm磨削片的崩边要求按GB/T 29508执行，经倒角的研磨片崩边要求按GB/T 12965第5.7.1条执行。

4.2 碳化硅衬底加工质量目标

4.2.1 平整度要求

碳化硅衬底经磨削平整化后，总厚度变化（TTV）应不大于2 μm，局部平整度（LTV，25 mm×25 mm区域）应不大于1 μm。

4.2.2 损伤层深度控制目标

精磨后碳化硅衬底的SSD应不大于1.0 μm。粗磨阶段SSD宜控制在5 μm以内，为后续精磨留有充足去除余量。

4.3 蓝宝石窗口片加工质量目标

精磨后蓝宝石窗口片应满足以下质量要求：

- a) 表面粗糙度 Ra: ≤3 nm;
- b) 亚表面损伤层深度 SSD: ≤0.8 μm。

4.4 氮化镓及其他硬脆材料加工质量目标

精磨后氮化镓等硬脆材料应满足以下质量要求：

- a) 表面粗糙度 Ra: ≤5 nm;
- b) 边缘不应出现崩裂（按4.1.3执行）；
- c) SSD控制目标由供需双方协商确定，并在工艺文件中明确。

4.5 典型半导体材料磨削质量目标

各类型典型半导体材料磨削加工的质量目标汇总见表1。

表1 典型半导体材料磨削加工质量目标汇总

材料类型	表面粗糙度 Ra/nm	SSD/ μm	TTV/ μm	LTV (25 mm \times 25 mm) / μm	边缘崩裂	评价依据
硅	≤ 5	≤ 1.0	—	—	无崩裂	GB/T 29508、GB/T 12965
碳化硅衬底	—	≤ 1.0	≤ 2	≤ 1	—	—
蓝宝石窗口片	≤ 3	≤ 0.8	—	—	—	—
氮化镓等硬脆材料	≤ 5	协商确定	—	—	无崩裂	—

注1：“—”表示该指标对相应材料不作重点要求，或由供需双方协商确定。

注2：氮化镓等硬脆材料的SSD控制目标由供需双方协商确定。

5 设备性能要求

5.1 一般要求

超精密平面磨床应具备足够的主轴精度、进给分辨率、热稳定性和振动控制能力，以满足第4章规定的各类材料加工质量目标。设备选型应考虑以下因素：

- 主轴系统的刚度与阻尼特性；
- 进给系统的分辨率和动态响应；
- 床身结构的热对称设计与热补偿能力；
- 振动隔离系统的固有频率与传递率。

5.2 主轴精度

5.2.1 主轴径向回转误差应不大于 $0.1 \mu\text{m}$ ，轴向跳动应不大于 $0.1 \mu\text{m}$ 。精度检验按 GB/T 17421.1 中有关回转精度的检测方法执行。

5.2.2 主轴通常采用空气静压轴承结构，通过压缩空气在主轴与轴承之间形成气膜实现无接触支承。主轴系统应定期进行精度检测，检测时应使主轴达到热稳定状态后测量。

5.3 进给系统分辨率

5.3.1 垂直进给方向的最小指令分辨率应不大于 $0.1 \mu\text{m}$ ，实际进给步距误差应不超过 $\pm 0.05 \mu\text{m}$ 。定位精度及步距误差的测量与验证按 GB/T 17421.2 执行。

5.3.2 进给系统宜采用闭环控制，配置高分辨率光栅尺或激光干涉仪作为位置反馈元件，以消除丝杠间隙和热变形对进给精度的影响。

5.4 热稳定性

5.4.1 在连续磨削 60 min 后，主轴轴线相对于工作台的热漂移量应不大于 $2 \mu\text{m}$ 。设备应具备主动冷却或热对称结构设计。热漂移检验可参照 GB/T 17421.3 中有关热变形检验的原则进行。

5.4.2 热稳定的主要措施包括以下内容：

- 主轴水冷或油冷系统；
 - 床身采用低热膨胀系数材料（如花岗岩）；
 - 对称结构设计降低热变形梯度；
- 设备启动后应进行预热运行，待热平衡后方可开始加工。

5.5 振动控制特性

5.5.1 刀尖点相对于工件的相对振动速度均方根值应不大于 0.5 mm/s ，且设备的固有频率应避开磨削激励频率。振动评价按 GB/T 17421.1 给出的固定结构振动测量指南执行。

5.5.2 振动控制措施包括以下内容：

- 采用主动或被动隔振系统隔离地基振动；
- 主轴高精度动平衡；
- 降低冷却液供给系统的压力脉动。

d) 隔振系统的固有频率宜低于加工中最低激励频率的 1/3。

5.6 超精密平面磨床等级划分

根据主轴回转误差、进给分辨率、热漂移和振动控制等关键性能指标，超精密平面磨床可分为A级、B级、C级三个等级，分级要求见表2。

表2 超精密平面磨床性能分级

性能指标	A级	B级	C级	检验标准
主轴径向回转误差/ μm	≤ 0.05	≤ 0.1	≤ 0.2	GB/T 17421.1
垂直进给分辨率/ μm	≤ 0.01	≤ 0.1	≤ 0.5	GB/T 17421.2
连续磨削60 min热漂移/ μm	≤ 1	≤ 2	≤ 5	GB/T 17421.3
刀尖相对振动速度均方根值/(mm/s)	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 1.0	GB/T 17421.1

注：分级指标为推荐性指导值，具体等级选择应根据加工对象的质量目标确定。

6 加工环境要求

6.1 温度控制

6.1.1 加工区域在设备稳定运行后，温度波动范围宜控制在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内，以避免热变形对加工精度的影响。具体控制值可由供需双方根据加工精度要求协商确定。

6.1.2 温度控制系统应具备足够的制冷和加热能力，送风口应避免直吹设备，推荐采用孔板送风方式实现均匀温度场。

6.2 湿度控制

6.2.1 加工区相对湿度宜控制在40%~60%，超出时应启动空调除湿或加湿调节，防止静电积聚或锈蚀。具体控制值可由供需双方协商确定。

6.2.2 湿度控制对于预防静电放电对晶片表面损伤具有重要作用。过低湿度易产生静电，过高湿度可能导致设备锈蚀和电气故障。

6.3 空气洁净度

6.3.1 磨削加工区的空气洁净度应符合 GB/T 25915.1 规定的5级要求，以减少颗粒污染对晶片表面的损伤。

6.3.2 洁净室的维护应注意以下事项：

- a) 定期更换高效过滤器；
- b) 保持室内正压；
- c) 人员穿戴洁净服；
- d) 物料进入前经过净化处理。

6.4 地基振动限制

6.4.1 磨床安装基础在1 Hz~100 Hz 频带内的振动应满足设备正常运行要求，其限值由设备制造商提供或通过现场测量确认。振动测量与评价应按 GB/T 14124 和 GB/T 50269 的规定进行。

6.4.2 磨床基础宜与厂房基础隔离，采用独立防振基础或隔振沟。设备安装前应进行现场振动测试，确认场地振动水平满足设备要求。

6.5 电磁干扰控制

6.5.1 加工区域工频电磁场强度应满足电容式位移传感器、微力传感器等精密测量元件的抗干扰要求，其限值由设备制造商提供。

6.5.2 电磁干扰源包括变频器、电动机、电控柜等，应采取屏蔽、接地和距离隔离等措施降低干扰。

6.6 超精密磨削环境要求

为保障超精密磨削质量，加工环境应满足表3给出的各项控制要求。

表 3 加工环境控制要求与测量方法

环境参数	要求	测量方法
温度波动范围（稳定运行后）	供需双方协商，宜±0.5℃	多通道温度记录仪，采样间隔≤1 min
相对湿度	供需双方协商，宜40%~60%	露点仪或湿度传感器
空气洁净度	5级，按GB/T 25915.1	光学粒子计数器，按GB/T 25915.1
地基振动幅度（1 Hz~100 Hz）	按设备制造商要求	按GB/T 50269和GB/T 14124
工频电磁场强度	按设备制造商要求	磁场探头扫描

7 工艺设计指南

7.1 工艺设计流程

超精密平面磨床的工艺设计宜按以下流程进行半导体材料的超精密磨削宜采用分段策略，典型分段方式为：

- 根据加工材料的类型和质量目标，按第 4 章确定所需磨床的等级；
- 根据磨床的性能等级和配置，按第 5 章确认主轴精度、进给分辨率、热稳定性及振动控制能力满足加工需求；
- 根据磨床的工位配置和进给能力，确定分段磨削方案和各阶段去除量分配；
- 根据磨床的传感器配置，按第 8 章确定过程监测参数和报警阈值；
- 通过试切对工艺参数进行验证和优化，直至质量满足第 4 章要求。

7.2 分段磨削方案制定

超精密平面磨床宜采用分段磨削策略，利用磨床的多工位或多次进给功能实现加工过程的阶段划分。

7.2.1 分段原则

7.2.1.1 各阶段的划分应根据磨床的进给分辨率、主轴功率和砂轮特性综合确定。对于配置多工位的磨床，可在不同工位分别安装不同粒度的砂轮以提高效率。

7.2.1.2 典型分段方式如下：

- 粗磨阶段：利用磨床的较大进给能力，以较高材料去除率快速减薄工件；
- 精磨阶段：利用磨床的高分辨率进给能力，以较低材料去除率修复粗磨引入的损伤层；
- 超精磨阶段（可选）：利用磨床的最高精度等级，进一步降低表面粗糙度。

7.2.2 去除量分配

7.2.2.1 去除量分配应通过工艺试验进行确认。首次加工新材料时，宜通过截面显微观测或角度抛光法测定各阶段 SSD 深度，据此优化去除量分配。

7.2.2.2 各阶段去除量的分配应遵循以下原则：

- 后道工序去除量不小于前道工序引入的 SSD 深度的 2 倍；
- 最终精磨去除量应保证 SSD 控制在第 4 章规定的目标值以内；
- 去除量分配结合磨床在线测厚系统的反馈进行验证和调整。

7.3 砂轮选择与配置

砂轮的选择应与磨床的性能等级和加工材料相匹配，主要考虑以下因素。

7.3.1 磨粒类型

半导体材料加工宜选用金刚石砂轮。

7.3.2 磨粒粒度

粗磨阶段选用较大粒度以提高去除效率，精磨阶段选用较小粒度以满足表面质量要求，具体选择应结合磨床主轴精度和进给分辨率确定。

7.3.3 结合剂类型

根据材料硬度和脆性选择陶瓷、树脂或金属结合剂，脆性较大的材料宜选用树脂或陶瓷结合剂以降低磨削力冲击。

7.3.4 砂轮安装

安装后应进行动平衡校验，并利用磨床配置的声发射传感器监测砂轮状态。

7.4 工艺参数确定

工艺参数的确定应充分利用磨床的性能特点和监测功能，主要考虑以下因素。

7.4.1 进给速率

根据磨床进给分辨率、主轴功率和材料特性确定，粗磨阶段可选用较高进给速率，精磨阶段应降低进给速率以保证表面质量。

7.4.2 主轴转速

根据砂轮直径、磨粒粒度和材料特性确定，应在砂轮制造商推荐的线速度范围内选取。

7.4.3 冷却液供给

根据磨床配置的冷却液循环系统能力，调节供给压力和流量，确保磨削区温度稳定。

7.5 工艺验证与优化

7.5.1 工艺方案确定后，应利用磨床的在线监测系统验证和优化：

- a) 通过在线测厚系统验证去除量分配的准确性；
- b) 通过声发射传感器和功率传感器监测加工过程的稳定性；
- c) 通过离线检测验证加工结果是否满足第4章规定的质量目标；
- d) 根据监测和检测结果对工艺参数进行调整，形成稳定的工艺方案。

7.5.2 批量加工前宜进行小批量试制，统计过程能力指数，确认工艺方案的稳定性和可靠性。工艺方案变更时，应重新进行验证。

8 在线监测与过程控制

8.1 监测参数选择

超精密磨削过程中宜对以下参数进行在线监测：

- a) 磨削力或主轴功率：反映材料去除过程的稳定性；
- b) 声发射信号：反映砂轮磨损状态和加工异常；
- c) 工件厚度：反映加工尺寸控制精度。

8.2 传感器配置要求

设备宜配置以下在线监测传感器：

- a) 声发射（AE）传感器，安装位置应靠近磨削区；
- b) 力传感器或主轴功率传感器；
- c) 位移传感器（如LVDT或光栅尺），用于实时测量工件厚度。

8.3 数据采集与记录

8.3.1 在线监测数据的采样频率建议不低于100 Hz。数据应实时记录并存储，保留周期宜不少于3个月。

8.3.2 数据记录应包含以下信息：

- a) 加工时间及批次编号；
- b) 各通道监测参数的实时值和统计值；
- c) 报警事件及其触发条件；
- d) 对应的工艺参数设定值。

8.4 异常识别与处理

8.4.1 异常识别

在线监测参数的异常判定阈值应通过工艺能力分析确定，以区分正常波动与异常状态。建议采取以下措施：

- a) 对磨削力/功率信号设定相对基准值的偏差范围；
- b) 对声发射信号 RMS 值设定基于工艺标定的限值；
- c) 对工件厚度偏差设定与质量目标对应的控制限。

8.4.2 异常处理

出现异常报警时，应按以下流程处理：

- a) 暂停进给，检查砂轮表面状态；
- b) 确认冷却液供给正常；
- c) 检查工件装夹是否可靠；
- d) 排除异常后恢复加工，并记录处理过程。。

9 设备操作与维护

9.1 操作人员能力要求

9.1.1 操作人员应接受超精密磨削工艺及设备操作的专业培训，了解金刚石砂轮特性、冷却液管理和数控系统编程，并经考核合格后方可上岗作业。

9.1.2 培训内容应包括以下内容：

- a) 金刚石砂轮的特性、选择与维护；
- b) 冷却液管理和质量监控；
- c) 数控系统编程与操作；
- d) 在线监测系统的使用与数据判读；
- e) 安全操作规程和应急处置。

9.2 设备校准周期

应定期对设备关键性能进行校准，推荐周期如下：

- a) 主轴精度、进给轴定位精度和在线测厚系统：每 6 个月一次，校准按 GB/T 4022.1 和 GB/T 40810.1 执行；
- b) 振动监测系统：每 12 个月一次；
- c) 设备搬迁、大修或长期停用后重新启用前，应进行校准。

注：具体周期可根据设备使用频率和状态进行调整。

9.3 冷却液管理

冷却液应采用超滤或去离子水配制的专用磨削液，主要管理要求如下：

- a) 电导率：应不大于 $5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，每周检测一次；
- b) pH 值：应维持在 7.0~8.5，每周检测一次；
- c) 温度：宜控制在 $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ，配备恒温循环系统；
- d) 微生物含量：应每周检测，超标时进行杀菌处理；
- e) 更换周期：按规定周期更换，更换时应清洗循环管路。

9.4 砂轮修整与更换

9.4.1 砂轮出现下列情况之一时，应进行修整或更换：

- a) 加工后晶片表面粗糙度 Ra 连续超出工艺要求上限；
- b) 声发射信号 RMS 值或磨削力发生趋势性异常升高且通过修整无法恢复；
- c) 目视或显微观察发现砂轮表面出现大面积磨粒脱落、堵塞或钝化。

9.4.2 砂轮修整应使用专用修整器，修整参数应通过试验确定。修整后应进行试切验证，确认加工质

量满足要求后方可投入批量生产。

9.5 安全防护

设备应配置以下安全防护装置：

- a) 砂轮防护罩：应覆盖砂轮在工作状态下可能碎裂飞出的范围；
- b) 急停按钮：应在操作台和磨削区附近分别设置；
- c) 冷却液泄漏检测报警：应具备自动切断供液功能；
- d) 电气联锁装置：防护门开启时应自动停止砂轮旋转和进给。

附录 A (资料性) 超精密平面磨床典型应用案例

A.1 硅片减薄与背面研磨应用案例

A.1.1 应用场景与设备要求

本案例展示超精密平面磨床在300 mm硅片减薄与背面研磨中的应用。按4.1规定的硅片加工质量目标，选用B级超精密平面磨床，性能满足表2中B级指标要求。

A.1.2 磨床配置与工艺策略

磨床关键配置如下：

- a) 主轴系统：空气静压主轴，径向回转误差 $\leq 0.1 \mu\text{m}$ ；
- b) 进给系统：垂直进给分辨率 $\leq 0.1 \mu\text{m}$ ；
- c) 分段策略：粗磨工位安装中等粒度金刚石砂轮，精磨工位安装细粒度金刚石砂轮，遵循7.1.1的分段磨削策略；
- d) 过程监控：配置声发射传感器和功率传感器，实时监测砂轮状态和磨削力变化。

A.2 碳化硅衬底平整化与损伤层去除应用案例

A.2.1 应用场景与设备要求

本案例展示超精密平面磨床在150 mm 4H-SiC衬底平整化与损伤层去除中的应用。按4.2规定的的质量目标，选用具备主动振动隔离和热对称结构的超精密平面磨床。

A.2.2 磨床配置与工艺策略

磨床关键配置如下：

- a) 床身与振动控制：花岗岩床身配合主动隔振系统，刀尖相对振动速度均方根值 $\leq 0.5 \text{ mm/s}$ ；
- b) 热稳定性：主轴主动冷却系统，连续磨削60 min热漂移量 $\leq 2 \mu\text{m}$ ；
- c) 砂轮配置：粗磨工位安装 $15 \mu\text{m}$ 粒度金刚石砂轮，精磨工位安装 $3 \mu\text{m}$ 粒度金刚石砂轮；
- d) 过程监控：配置在线测厚系统，实现去除量闭环控制。

A.3 蓝宝石窗口片超精密磨削应用案例

A.3.1 应用场景与设备要求

本案例展示超精密平面磨床在蓝宝石窗口片超精密磨削中的应用。蓝宝石窗口片对光学透过率和表面完整性有较高要求。按4.3规定的的质量目标，选用A级超精密平面磨床，并在5级洁净环境中运行。

A.3.2 磨床配置与工艺策略

磨床关键配置如下：

- a) 轴精度：径向回转误差 $\leq 0.05 \mu\text{m}$ ；
- b) 进给精度：垂直进给分辨率 $\leq 0.01 \mu\text{m}$ ；
- c) 砂轮与冷却：配置树脂结合剂金刚石砂轮，配合恒温低粘度冷却液循环系统；
- d) 环境保障：温度波动控制在 $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 以内，相对湿度40%~60%，空气洁净度5级。

A.4 氮化镓晶片超精密磨削应用案例

A.4.1 应用场景与设备要求

本案例展示超精密平面磨床在氮化镓(GaN)晶片减薄与表面平整化中的应用。氮化镓材料硬度高、脆性大，对磨削损伤控制要求严格。按4.4规定的的质量目标，选用A级或B级超精密平面磨床，并配置主动振动隔离系统。

A. 4.2 磨床配置与工艺策略

磨床关键配置如下：

- a) 主轴系统：空气静压主轴，径向回转误差 $\leq 0.05\ \mu\text{m}$ （A级）或 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$ （B级）；
- b) 进给系统：垂直进给分辨率 $\leq 0.01\ \mu\text{m}$ （A级）或 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$ （B级），采用闭环控制；
- c) 砂轮配置：选用树脂结合剂金刚石砂轮，粗磨粒度 $10\ \mu\text{m}\sim 15\ \mu\text{m}$ ，精磨粒度 $2\ \mu\text{m}\sim 4\ \mu\text{m}$ ；
- d) 过程监控：配置声发射传感器和在线测厚系统，实时监测砂轮接触状态和去除量；
- e) 环境控制：温度波动 $\pm 0.5\ ^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $40\%\sim 60\%$ ，空气洁净度5级。

附录 B
(资料性)
常见磨削缺陷与处理措施

B.1 常见磨削缺陷与处理措施汇总

表B.1列出了超精密平面磨削过程中常见的缺陷现象、可能原因及推荐处理措施。

表 B.1 常见磨削缺陷及处理措施

缺陷现象	可能原因	处理措施
表面粗糙度超标	砂轮粒度偏粗、砂轮钝化、进给速度过快、主轴转速偏低	更换细粒度砂轮、修整砂轮、降低进给速度、提高主轴转速
边缘崩裂	磨削深度过大、砂轮过钝、工件装夹不牢、冷却不足	减小单次磨削深度、修整或更换砂轮、检查装夹、增加冷却液流量
亚表面损伤层过深	粗磨去除量过大、精磨去除量不足、砂轮粒度偏粗	优化去除量分配、增加精磨余量、选用更细砂轮
厚度均匀性超差 (TTV 超标)	主轴热漂移、工作台平行度失准、砂轮磨损不均	检查主轴热平衡状态、校准工作台、修整砂轮
表面划痕或灼伤	冷却液不足或过滤不良、砂轮堵塞、进给速度过快	检查冷却液流量及洁净度、修整砂轮、降低进给速度