

目次

- 監修のことば
- 超精密生産技術大系 全4巻 第3巻発刊によせて
- 第3巻発刊のことば
- 執筆者一覧

第1編 総論

■第1章 超精密計測技術の概要

| | | | | |
|-----------------------------------|-------|--------|---|----|
| 第1節 超精密計測技術の意義と特徴 | …………… | 〈河野嗣男〉 | … | 3 |
| まえがき | …………… | | | 3 |
| 1. 超精密計測の意義 | …………… | | | 4 |
| 1.1 超精密加工機における位置決め基準としての超精密計測 | …………… | | | 4 |
| 1.2 超精密加工機の制御のための超精密計測 | …………… | | | 4 |
| 2. 超精密計測の特徴 | …………… | | | 4 |
| 2.1 超精密測定的方式 | …………… | | | 4 |
| 2.2 高精度位相検出干渉計 | …………… | | | 5 |
| 2.3 超精密計測における問題点 | …………… | | | 5 |
| あとがき | …………… | | | 7 |
| 第2節 超精密計測技術の変遷 | …………… | 〈沢辺雅二〉 | … | 8 |
| 1. 1960年前後の機械計測の状況 | …………… | | | 8 |
| 2. 光波干渉計による長さ測定 | …………… | | | 8 |
| 3. 触針法による微細形状測定の変遷 | …………… | | | 10 |
| 3.1 触針法による表面粗さの測定における1965年ごろまでの状況 | …………… | | | 10 |
| 3.2 高感度触針式微細形状測定器の出現 | …………… | | | 11 |
| 4. 表面計測における光波干渉法 | …………… | | | 12 |
| 5. 光触針による表面形状測定 | …………… | | | 14 |
| 6. 走査トンネル顕微鏡の出現 | …………… | | | 15 |
| 7. 表面測定精度の変遷 | …………… | | | 17 |

■第2章 超精密制御技術の概要

| | | | | |
|----------------------|-------|--------|---|----|
| 第1節 超精密制御の特徴 | …………… | 〈大塚二郎〉 | … | 20 |
| まえがき | …………… | | | 20 |
| 1. 機構的な粗動と微動による方法 | …………… | | | 20 |
| 2. 制御的な粗動と微動による方法 | …………… | | | 22 |
| 2.1 非線形ばね特性 | …………… | | | 22 |
| 2.2 小林らの研究 | …………… | | | 22 |
| 2.3 二見らの研究 | …………… | | | 23 |
| 2.4 筆者らの研究 | …………… | | | 23 |
| 3. 装置各所の摩擦力対処法 | …………… | | | 26 |
| 4. 新制御理論の適用 | …………… | | | 26 |
| 第2節 超精密制御技術の変遷 | …………… | 〈白石昌武〉 | … | 28 |
| 1. 歴史的発展の背景 | …………… | | | 28 |
| 2. 制御方式の変遷 | …………… | | | 29 |
| 3. 制御系構成の推移 | …………… | | | 30 |
| 3.1 アナログ系 | …………… | | | 30 |
| 3.2 デジタル系 | …………… | | | 31 |
| 3.3 ソフトウェア構成系 | …………… | | | 31 |
| 4. 期待される制御法の2, 3の例 | …………… | | | 32 |
| 4.1 可変構造制御法(スライディングモ | …………… | | | |

2 目次

| | | | |
|--------------------|----|-----------------------|----|
| ード法) | 32 | 4.3 2次安定化理論に基づく最適レギュレ | |
| 4.2 近似ゼロイング法 | 33 | ータ | 34 |

■第3章 超精密計測・制御技術の課題と展望

| | | | |
|----------------------------|----|------------------------------|----|
| 第1節 計測技術の課題 | | 〈田中 充〉 .. | 39 |
| 1. 加工プロセス外の評価法とその整合性 | 39 | 3. 加工ツール, 計測プローブの計測と環境 | 41 |
| 2. 超精密計測のための位置決め技術 | 40 | 4. 計測システムの構築 | 43 |
| 第2節 制御技術の課題 | | 〈坂戸啓一郎〉 .. | 44 |
| まえがき | 44 | 2. 新しい制御技術の動向 | 47 |
| 1. 超精密制御技術の実状 | 44 | 2.1 オブザーバ技術 | 47 |
| 1.1 制御対象の正確なモデル (同定) .. | 44 | 2.2 新しい制御理論の応用動向 | 47 |
| 1.2 PID制御 | 45 | 3. 今後の技術課題 | 48 |
| 1.3 ロバスト性能向上 | 46 | あとがき | 48 |
| 1.4 2自由度PID制御 | 46 | | |
| 第3節 将来展望 | | 〈森村正直〉 .. | 50 |
| まえがき | 50 | 2. 超精密計測のための加工技術 | 52 |
| 1. 計測技術の将来展望 | 50 | 3. 超精密計測のための制御技術 | 52 |
| 1.1 対象分野の拡大 | 50 | 〈センサの超小型化〉 | 52 |
| 1.2 測定領域の拡大 | 51 | 4. 今後の技術課題 | 52 |
| 1.3 新しい計測手法の導入 | 51 | あとがき | 53 |
| 1.4 新しいデバイスの開発 | 51 | | |

第2編 超精密計測・制御基礎論

■第1章 緒論 (教育的)

| | | | |
|-------------------------|----|---------------------------|----|
| 第1節 超精密計測の基礎 | | 〈豊田幸司〉 .. | 57 |
| 1. 超精密計測の特質 | 57 | 3.6 再現性, 繰返し性 | 59 |
| 2. 計測と測定 | 57 | 3.7 誤差の数式表現 | 59 |
| 3. 誤差と精度 | 57 | 4. 計測器の性能および特性 | 60 |
| 3.1 真の値 | 58 | 4.1 ドリフト, 安定性, 経年変化 | 60 |
| 3.2 誤差 | 58 | 4.2 静特性 | 60 |
| 3.3 系統誤差, 偶然誤差, 総合誤差 .. | 58 | 4.3 動特性 | 60 |
| 3.4 部分誤差, 合成誤差 | 58 | 5. 測定環境・条件 | 61 |
| 3.5 正確さ, 精密さ, 精度 | 58 | | |
| 第2節 基準・ゲージ | | 〈豊田幸司〉 .. | 62 |
| 1. 物理量の単位, 単位系 | 62 | 1.5 暫定的に使用される単位 | 64 |
| 1.1 SI単位 | 62 | 1.6 CGS単位 | 65 |
| 1.2 SI接頭語 | 63 | 1.7 推奨しにくい単位 | 65 |
| 1.3 SI基本単位の定義 | 63 | 2. 工業量の定義 | 65 |
| 1.4 SIと併用される単位 | 64 | 2.1 表面粗さ | 65 |

| | | | |
|---------------------------------|-------|---------------------|-----|
| 2.2 幾何偏差 | 66 | 3.2 角 度 | 69 |
| 2.3 硬 さ | 67 | 3.3 表面粗さ | 69 |
| 3. 各種実用基準 | 68 | 3.4 幾何偏差 | 70 |
| 3.1 長 さ | 68 | 3.5 硬 さ | 70 |
| 第3節 超精密制御の基礎 | ..... | <白石昌武> | 72 |
| まえがき | 72 | 4.1 フィードバック補償 | 76 |
| 1. 制御の目指すもの | 72 | 4.2 直列補償 | 77 |
| 2. 制御系設計の考え方 | 73 | 4.3 フィードフォワード補償 | 78 |
| 3. 制御系設計の基礎 | 73 | 5. 現代制御理論からのアプローチ | 79 |
| 3.1 安定性について | 73 | 5.1 最適レギュレータ | 79 |
| 3.2 定常特性について | 74 | 5.2 オブザーバの併用 | 80 |
| 3.3 過渡特性について | 75 | 5.3 最適予見サーボ系 | 80 |
| 4. 制御系の特性補償 | 75 | 6. 接触運動における制御法 | 82 |
| ■第2章 超精密計測の基本的技術 | | | |
| 第1節 測定の一般的性質 | ..... | <清野 慧> | 84 |
| 1. 測定の役割 | 84 | 3.4 差動法 | 86 |
| 2. 測定システムのSN比 | 84 | 3.5 偏位法と零位法 | 87 |
| 3. 種々の測定法 | 85 | 3.6 追従法 | 88 |
| 3.1 直接測定と比較測定 | 85 | 3.7 間接測定 | 88 |
| 3.2 寸法の絶対測定 | 85 | 4. 使用条件と測定法の相似化 | 88 |
| 3.3 形状の絶対測定 | 86 | 5. 測定における伝達関数 | 89 |
| 第2節 測定の精度 | ..... | <清野 慧> | 92 |
| 1. 偶然誤差と系統誤差 | 92 | 5.1 温度の管理 | 95 |
| 1.1 誤差の分布 | 92 | 5.2 一様な温度状態での測定 | 95 |
| 1.2 偶然誤差の伝播 | 92 | 5.3 時間的変化 | 96 |
| 2. 1次の誤差と2次の誤差 | 93 | 5.4 温度条件の空間的変化 | 97 |
| 3. 測長における視差とアップの原理 | 93 | 6. サンプリングとその問題 | 98 |
| 4. 弾性変形 | 94 | 6.1 サンプリング(離散化) | 98 |
| 4.1 エアリー点, ベッセル点 | 94 | 6.2 開口による平滑特性 | 98 |
| 4.2 測定力による弾性変形 | 95 | 6.3 折返し | 99 |
| 5. 精密測定と温度 | 95 | | |
| 第3節 測定機器における精度維持と精度向上の基本 | ..... | <清野 慧> | 101 |
| 1. 再現性と信頼性 | 101 | 2.5 3面すり合せ | 105 |
| <測定精度と再現性> | 101 | 3. 反転法による形状測定 | 106 |
| 2. 精度維持とその向上の工夫 | 102 | 3.1 真直度の走査測定 | 106 |
| 2.1 反転法 | 102 | 3.2 真円度の測定と反転法 | 106 |
| 2.2 偏心の影響の除去 | 103 | 3.3 反転法の改良 | 107 |
| 2.3 エンコーダの目盛の校正 | 103 | 3.4 マルチステップ法 | 107 |
| 2.4 変位センサの自律校正 | 104 | | |

4 目次

| | | | |
|------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 第4節 形状測定における精度の維持と向上 | 109 | <清野 慧> | 109 |
| 1. 形状測定データム | 109 | 3. 真直度など一般形状の測定 | 111 |
| 1.1 機械的データム | 109 | 3.1 2点法 | 112 |
| 1.2 重力軸データム | 109 | 3.2 3点法 | 114 |
| 1.3 光軸データム | 110 | 3.3 差動レーザーオートコリメーション | 115 |
| 1.4 ソフトウェアデータム | 110 | 3.4 混合法 | 115 |
| 2. ソフトウェアデータム | 110 | 4. スキッド法 | 117 |
| <真円度測定のための3点法> | 110 | | |
| 第5節 分析技術の基礎 | 122 | <水原 和行> | 122 |
| まえがき | 122 | 2.3 電子線を励起源に用いる方法 | 126 |
| 1. 電磁波信号 | 122 | 3. イオンを用いる方法 | 126 |
| 1.1 分光法 | 123 | 3.1 イオンの検出 | 127 |
| 1.2 電磁波の検出 | 124 | 3.2 イオンを信号励起に用いる場合 | 127 |
| 1.3 電磁波を信号の発生に用いる場合 | 125 | 4. 分析における注意事項 | 127 |
| 2. 電子を用いる方法 | 125 | 4.1 ノイズ | 127 |
| 2.1 電子分光法 | 125 | 4.2 標準試料の分析の重要性 | 128 |
| 2.2 電子の検出方法 | 125 | | |
| ■第3章 超精密制御の要素技術 | | | |
| 第1節 超精密制御系の応答と安定性 | 130 | <二見 茂> | 130 |
| 第2節 アクチュエータと超精密制御素子 | 134 | <二見 茂> | 134 |
| 第3節 超精密制御系の設計 | 137 | <二見 茂> | 137 |
| 第4節 非線形制御と先端制御理論の基礎 | 142 | <二見 茂> | 142 |
| 第5節 超磁歪超精密アクチュエータ素子 | 145 | <江田 弘/山本佳男> | 145 |
| まえがき | 145 | 3.2 超磁歪超精密位置決め装置 | 151 |
| 1. 超磁歪材料の開発と磁気特性 | 146 | 3.3 超磁歪アクチュエータを搭載した超精密工作機械の開発 | 151 |
| 2. 超磁歪アクチュエータ | 146 | 3.4 硬脆材料の超精密加工 | 152 |
| 2.1 アクチュエータの設計 | 146 | 4. 超磁歪合金微粉末を用いたアクチュエータ | 152 |
| 2.2 アクチュエータの磁歪量と変位率の関係 | 147 | 4.1 超磁歪合金の組成に関する考察 | 153 |
| 2.3 アクチュエータの温度制御システム | 148 | 4.2 超磁歪微粉末複合材の開発 | 154 |
| 2.4 負荷重畳時の変位特性 | 149 | 4.3 超磁歪複合材を用いたアクチュエータ | 156 |
| 3. 超磁歪材料を用いた超精密位置決め装置 | 149 | あとがき | 159 |
| 3.1 新しい超磁歪材料の開発 | 150 | | |

第3編 計測技術

第1章 計測手法の選択

| | |
|-------------------------|-----|
| <小野 明> ... 163 | |
| 1. 計測の目的 | 163 |
| 2. 測定項目 | 163 |
| 3. 測定機の選定に考慮すべき仕様項目 ... | 164 |
| 4. 測定機選定の目安 | 165 |

第2章 光応用計測法

| | | | |
|------------------------|-----|----------------------|-----|
| 第1節 幾何光学的測定法 | | <大坪 順次> ... 167 | |
| まえがき | 167 | 2.2 ハルトマンテスト | 170 |
| 1. 幾何光学の一般原理 | 167 | 2.3 ロンキーテスト | 171 |
| 1.1 光の直進, 反射, 屈折 | 167 | 2.4 オートコリメータ | 171 |
| 1.2 レンズと結像 | 168 | 2.5 光切断 | 172 |
| 1.3 光ビーム | 169 | 2.6 光ビームを用いた計測 | 172 |
| 2. 幾何光学的測定法 | 169 | あとがき | 173 |
| 2.1 フーコーテスト | 169 | | |

| | | | |
|--------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 第2節 画像計測法 | | <住本 哲広/岡田 三郎> ... 174 | |
| 1. 画像計測の特徴 | 174 | 2.4 計測のための画像演算処理 | 177 |
| 2. 3次元形状計測 | 174 | 3. 画像計測の応用 | 177 |
| 2.1 従来の計測法の問題点と解決策 | 174 | 3.1 寸法・形状計測 | 177 |
| 2.2 3次元形状の計測原理 | 175 | 3.2 機械加工部品の歯形角度計測 | 178 |
| 2.3 複合視覚センサ | 176 | 3.3 3次元形状計測 | 178 |

| | | | |
|----------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 第3節 レーザビーム計測法 | | <高林 均> ... 180 | |
| 1. ガウス分布とレーザビーム | 180 | 5. 三角測量方式レーザ変位計 | 183 |
| 2. レーザビームを利用する計測法の分類 | 180 | 5.1 測定原理 | 183 |
| 3. 外径測定機 | 181 | 5.2 感 度 | 184 |
| 3.1 回転ミラー方式 | 181 | 5.3 精 度 | 185 |
| 3.2 音叉振動ミラー方式 | 181 | 5.4 応答速度 | 185 |
| 3.3 外径測定機の主な仕様 | 182 | 5.5 変位計の主な仕様 | 186 |
| 4. 透明板厚み計 | 182 | 5.6 用 途 | 186 |

| | | | |
|-------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| 第4節 エンコーダ | | <染谷 厚> ... 187 | |
| まえがき | 187 | 3. リニアスケールと回転ディスク | 192 |
| 1. 光学式エンコーダの型式と構成 | 187 | 3.1 リニアスケールと回転ディスクの型式 | 192 |
| 2. 光学式エンコーダの原理 | 188 | 3.2 インクリメンタルエンコーダとアブソリュートエンコーダ | 192 |
| 2.1 光シャッター方式 | 188 | 3.3 回折格子スケール(ディスク)と | |
| 2.2 格子干渉方式 | 188 | | |
| 2.3 トルボット干渉方式 | 191 | | |

6 目次

| | | | |
|-------------------------------|-----|------------------------|-----|
| ホログラフスケール | 192 | 5.1 計測用途 | 194 |
| 4. 高分解能化技術 | 193 | 5.2 計測制御用途 | 194 |
| 5. 応用例 | 194 | あとがき | 195 |
| 第5節 光ファイバを用いた計測法 | | <芳野俊彦> | 196 |
| 1. ファイバジャイロ | 196 | 1.5 光学系 | 198 |
| 1.1 原理 | 196 | 1.6 応用 | 198 |
| 1.2 FOGの信号検出の原理 | 196 | 2. ひずみセンサ | 199 |
| 1.3 オープンループ方式 | 197 | 3. 変位センサ | 201 |
| 1.4 クローズドループ方式 | 197 | | |
| 第6節 干渉計測法 | | <中島俊典> | 205 |
| まえがき | 205 | 2.1 縞走査干渉法 | 206 |
| 1. 干渉計測の原理 | 205 | 2.2 ヘテロダイン干渉法 | 207 |
| 2. 高精度干渉計測法 | 206 | 2.3 フーリエ変換干渉法 | 207 |
| 第7節 レーザ干渉測長機 | | <松本弘一> | 210 |
| まえがき | 210 | 3.1 合致法 | 212 |
| 1. レーザ光源 | 210 | 3.2 合成波長法 | 213 |
| 2. 干渉縞計数型測長計 | 210 | 3.3 波長・周波数可変法 | 213 |
| 2.1 原理 | 210 | 4. 測長における諸問題 | 213 |
| 2.2 計数測長計 | 211 | 4.1 環境の変化 | 213 |
| 2.3 ヘテロダイン測長計 | 211 | 4.2 レーザ特有の問題 | 214 |
| 2.4 干渉計の高分解能化 | 211 | 4.3 非線形性 | 215 |
| 2.5 空気屈折率の自動補正 | 212 | 5. 市販の測長機 | 215 |
| 3. 多波長法 | 212 | あとがき | 215 |
| 第8節 ホログラフィ計測 | | <松田浄史> | 217 |
| まえがき | 217 | 2. ホログラフィの応用 | 221 |
| 1. ホログラフィ干渉法の原理 | 217 | 2.1 ホログラム素子 (HOE) を用いる | |
| 1.1 変位・変形測定 | 217 | 干渉計 | 221 |
| 1.2 物体の変形測定 | 218 | 2.2 ホログラフィ・スケール | 223 |
| 1.3 形状測定 | 219 | 2.3 その他産業への応用開発 | 224 |
| 1.4 振動測定 | 219 | あとがき | 226 |
| 1.5 計算機ホログラム | 220 | | |
| 第9節 光熱変換法 | | <豊田太郎> | 229 |

■第3章 各種計測法

| | | | |
|--------------------------------|-----|-------------------|-----|
| 第1節 電磁氣的1——非接触変位計 | | <小柳善樹> | 238 |
| まえがき | 238 | 1.4 性能 | 241 |
| 1. 渦電流式変位計 | 238 | 2. 静電容量式変位計 | 241 |
| 1.1 特徴 | 238 | 2.1 特徴 | 241 |
| 1.2 測定原理 | 238 | 2.2 測定原理 | 241 |
| 1.3 構成 | 239 | 2.3 構成 | 242 |

| | | | |
|------------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 2.4 性能 | 243 | | |
| 第2節 電磁氣的2——接触式変位計 | | <笹島和幸> .. | 246 |
| まえがき | 246 | 2.2 電磁氣式 | 248 |
| 1. 差動変圧器(トランス)方式 | 246 | 3. 静電容量型 | 249 |
| 2. リニアスケール式 | 247 | 4. 渦電流センサ内蔵型 | 249 |
| 2.1 光電式 | 247 | 5. その他の複合型 | 249 |
| 第3節 電磁氣的3——リニアスケール | | <嶋野忠彦/久須美雅昭> .. | 251 |
| まえがき | 251 | 2.1 MR素子の検出原理 | 254 |
| 1. マグネスケール | 251 | 2.2 デジルーラ | 255 |
| 1.1 検出原理 | 251 | 2.3 MRマグネスケール | 256 |
| 1.2 スケール種類と構造 | 254 | あとがき | 257 |
| 2. MR素子を用いた磁氣スケール | 254 | | |
| 第4節 電子ビーム応用装置の原理および特性 | | <横倉隆/石川昭夫> .. | 258 |
| まえがき | 258 | 4. SEMの応用装置 | 264 |
| 1. 電子顕微鏡の基本原理 | 258 | 4.1 ビームテスタ | 264 |
| 1.1 電子のふるまいと光との対比 | 258 | 4.2 電子露光装置 | 264 |
| 1.2 電子レンズと収差 | 259 | 4.3 走査型透過電子顕微鏡(STEM) | 265 |
| 1.3 電子と物質との相互作用 | 260 | 5. 透過型電子顕微鏡TEM | 265 |
| 1.4 SEM, TEMの構成 | 260 | 6. カラー蛍光電子顕微鏡 | 266 |
| 2. SEM | 262 | | |
| 3. 電子ビーム測長機 | 263 | | |
| 第5節 X線利用計測法 | | <中山貫> .. | 269 |
| まえがき | 269 | 2.3 X線干渉計の製作 | 272 |
| 1. X線光学系 | 269 | 2.4 平行ばね内蔵型干渉計 | 272 |
| <X線顕微鏡> | 269 | 2.5 応用例——X線干渉計による角度の | 273 |
| 2. X線による精密計測 | 270 | 校正 | 273 |
| 2.1 単結晶ポリゴン | 270 | 2.6 変位計測 | 273 |
| 2.2 X線干渉計 | 271 | あとがき | 274 |
| 第6節 超音波顕微鏡を用いた計測技術 | | <阿部千幹> .. | 275 |
| まえがき | 275 | 2.2 バースト音波を用いた計測 | 277 |
| 1. 超音波顕微鏡の原理と特徴 | 275 | あとがき | 279 |
| 2. 各種計測法 | 276 | | |
| 2.1 インパルス音波を用いた膜厚測定 | | | |
| 第7節 流体利用 | | <水上征二> .. | 281 |
| まえがき | 281 | 3.1 放射渦センサ | 284 |
| 1. 流体式センサの形成経緯 | 281 | 3.2 流速形センサと差動出力 | 285 |
| 2. 単管ノズル形検出方式の特性 | 281 | 3.3 薄板の計数 | 285 |
| 2.1 静特性 | 281 | 4. 衝突流形検出方式 | 286 |
| 2.2 動特性 | 282 | 4.1 スプレー検査 | 286 |
| 2.3 周波数変調方式 | 284 | 4.2 針先の位置検出 | 287 |
| 3. 複管ノズル形検出方式 | 284 | 5. 信号処理回路 | 288 |

■第4章 SPM

| | | | |
|---|-------------|--------------------------|-----|
| 第1節 原理と要素技術 | <梶村 皓二> ... | | 291 |
| 1. 走査型プローブ顕微鏡の始まり | 291 | 2.11 SNFOM (走査型近視野光顕微法) | 293 |
| 2. 走査型プローブ顕微鏡の動作原理 | 291 | ..... | 293 |
| 2.1 STM (走査型トンネル顕微法) ... | 291 | 2.12 STSRM (走査型トンネル電子スピ | 293 |
| 2.2 STS (走査型トンネル分光法) | 292 | ン共鳴顕微法) | 293 |
| 2.3 BEEM (弾道電子放射顕微法) ... | 292 | 2.13 AFM (原子間力顕微法) | 293 |
| 2.4 NACTM (非線形高周波トンネル顕 | 292 | 2.14 SSPM (走査型表面ポテンシャル顕 | 293 |
| 微法) | 292 | 微法) | 293 |
| 2.5 SICM (走査型イオン電流顕微法) | 292 | 2.15 MFM (磁気力顕微法) | 293 |
| ..... | 292 | 2.16 TAM (トンネル音響顕微法) ... | 293 |
| 2.6 SNP (走査型ノイズポテンショメ | 292 | 2.17 SThP (走査型熱プロファイラ) | 293 |
| トリ) | 292 | ..... | 293 |
| 2.7 STP (走査型トンネルポテンショメ | 292 | 3. 走査型プローブ顕微鏡の共通的要素技術 | 294 |
| トリ) | 292 | ..... | 294 |
| 2.8 SCPM (走査型化学ポテンシャル顕 | 292 | 3.1 SPM 用プローブ | 294 |
| 微法) | 292 | 3.2 粗動, 固定機構 | 294 |
| 2.9 SCM (走査型静電容量顕微法) ... | 292 | 3.3 微動, 走査機構 | 295 |
| 2.10 PSTM (フォトン走査型トンネル | 292 | 3.4 除振装置 | 295 |
| 顕微法) | 292 | 3.5 制御回路 | 296 |
| | | | |
| 第2節 走査型トンネル顕微鏡 (STM : Scanning Tunneling Microscope) | <小野 雅敏> ... | | 298 |
| まえがき | 298 | 3.5 工学的な応用 | 302 |
| 1. STM の原理と特徴 | 298 | 4. STM による形状計測の課題 | 302 |
| 2. STM の技術 | 298 | 4.1 探針と試料の表面 | 302 |
| 2.1 要素技術 | 298 | 4.2 探針形状による被測定形状の制約と | 302 |
| 2.2 動作環境 | 300 | 測定ゆがみ | 302 |
| 3. 表面構造の測定例 | 300 | 4.3 走査素子の非直線性の影響と対策 | 303 |
| 3.1 層状結晶 | 300 | ..... | 303 |
| 3.2 半 導 体 | 300 | 4.4 機構の緩慢な変形の影響 | 303 |
| 3.3 金 属 | 301 | 5. 今後の課題 | 303 |
| 3.4 分子, 有機物 | 301 | | |
| | | | |
| 第3節 原子間力顕微鏡 (AFM : Atomic Force Microscope) | <山田 啓文> ... | | 305 |
| 1. 背 景 | 305 | 2.2 カンチレバーの変位測定系 | 307 |
| 2. 動作原理 | 305 | 3. AFM の動作 | 308 |
| 2.1 探針・カンチレバー | 306 | | |
| | | | |
| 第4節 その他のSPM | <大津 元一> ... | | 311 |
| まえがき | 311 | 3. 応用と今後の課題 | 314 |
| 1. 原理と分解能 | 311 | あとがき | 315 |
| 2. 装置と測定例 | 312 | | |

■第5章 各種計測法

| | | | |
|--|-----|--------------------------------|-----|
| 第1節 変位および角度 | | ＜清野 慧＞ | 316 |
| 1. 変位 | 316 | 3.8 干渉法による変位センサ | 320 |
| 2. 接触式変位計 | 316 | 4. 追従型変位計 | 320 |
| 2.1 電気マイクロメータ | 316 | 4.1 接触検出器＋スケール | 320 |
| 2.2 デジタルマイクロメータ | 317 | 4.2 光触針＋スケール | 321 |
| 3. 非接触変位計 | 317 | 4.3 端面検出型光学式タッチセンサ | 321 |
| 3.1 空気マイクロメータ | 317 | 4.4 原子スケールのタッチセンサ | 321 |
| 3.2 容量型変位計 | 317 | 5. 角度 | 322 |
| 3.3 渦電流型変位計 | 318 | 5.1 水準器 | 322 |
| 3.4 光ファイバ変位計 | 318 | 5.2 オートコリメータ | 322 |
| 3.5 光三角法レーザ変位計 | 319 | 5.3 光てこ式角度検出器 | 322 |
| 3.6 斜入射型光学式変位計 | 319 | 5.4 臨界角方式角度計 | 323 |
| 3.7 光触針式変位計 | 320 | 5.5 干渉式角度測定計 | 323 |
| 第2節 距離・位置決め | | ＜洪川 哲郎＞ | 325 |
| まえがき | 325 | 2.1 超精密加工機械での使用例 | 326 |
| 1. 各種センサの種類と用途 | 325 | 2.2 円筒研削盤での使用例 | 329 |
| 2. 工作機械における位置決め用センサの使用例 | 326 | あとがき | 331 |
| 第3節 表面粗さ・欠陥（各種手法（触針・光プローブ・光散乱光干渉・SEM）等の測定器性能比較） | | ＜河野 嗣男＞ | 332 |
| まえがき | 332 | 4.5 円形走査ヘテロダイン干渉法 | 336 |
| 1. 触針式超精密表面粗さ測定装置 | 332 | 5. 超精密表面粗さ計測の問題点と解決の試み | 336 |
| 2. 肉眼および顕微鏡による粗さ測定 | 332 | 5.1 触針式の問題点と超軽荷重触針式表面測定機 | 336 |
| 3. 焦点検出による光触針法 | 333 | 5.2 測定環境問題と光スキッド法 | 337 |
| 3.1 非点収差法 | 333 | 5.3 大型試料面測定と微分干渉法 | 338 |
| 3.2 臨界角法 | 333 | 6. 表面欠陥の検出 | 338 |
| 4. 干渉法 | 334 | 6.1 光散乱による欠陥検出方法 | 338 |
| 4.1 多重干渉法 | 334 | 6.2 画像処理による欠陥検出方法 | 338 |
| 4.2 ミラウ干渉計 | 335 | あとがき | 340 |
| 4.3 マイクロフィゾー干渉計 | 335 | | |
| 4.4 マイケルソンおよびリニーク干渉計 | 336 | | |
| 第4節 形状・寸法 | | ＜小野 明＞ | 342 |
| まえがき | 342 | 2.2 平面度測定 | 344 |
| 1. 2次元寸法測定 | 342 | 3. 3次元形状測定 | 345 |
| 1.1 寸法・配置測定 | 342 | 3.1 真球度測定 | 345 |
| 1.2 断面測定 | 343 | 3.2 非球面形状測定 | 346 |
| 2. 平面形状測定 | 343 | 3.3 自由曲面形状測定 | 348 |
| 2.1 微細形状測定 | 343 | あとがき | 350 |
| 第5節 硬さ計測法 | | ＜樋田 並照＞ | 352 |
| まえがき | 352 | 1. 硬さ試験の分類 | 352 |

10 目次

| | | | |
|-------------------------|-----|----------------|-----|
| 1.1 押込み硬さ試験 | 352 | 2.2 ビッカース硬さ試験 | 354 |
| 1.2 動的硬さ試験 | 352 | 2.3 微小硬さ試験 | 355 |
| 1.3 引っかき硬さ試験 | 352 | 2.4 ロックウェル硬さ試験 | 357 |
| 1.4 その他 | 352 | 2.5 ショア硬さ試験 | 359 |
| 2. 代表的な硬さ試験方法（硬さの定義と特徴） | 352 | 3. 硬さ目盛間の関係 | 360 |
| 2.1 ブリネル硬さ試験 | 352 | 4. 代用試験としての硬さ | 360 |
| | | あとがき | 361 |

第6節 応力、ひずみ、材料特性計測法 <今井秀孝> ... 362

| | | | |
|--------------|-----|---------------------|-----|
| まえがき | 362 | 3.2 摩耗試験 | 366 |
| 1. 応力とひずみの計測 | 362 | 4. 非破壊的な計測方法 | 367 |
| 1.1 物理量と工業量 | 362 | 4.1 超音波法 | 367 |
| 1.2 応力-ひずみ線図 | 362 | 4.2 放射線法 | 367 |
| 1.3 力の計測 | 363 | 4.3 A E 法 | 367 |
| 1.4 ひずみの計測 | 363 | 5. 材料試験機の校正と管理 | 368 |
| 2. 静的な計測方法 | 364 | 5.1 引張試験機の場合 | 368 |
| 2.1 弾性係数 | 364 | 5.2 硬さ試験機の場合 | 368 |
| 2.2 引張試験 | 364 | 5.3 試験機の管理 | 368 |
| 2.3 曲げ試験 | 365 | 6. 現場における材料計測（材料試験） | 368 |
| 2.4 硬さ試験 | 365 | 6.1 試験片と実物による試験 | 368 |
| 3. 動的な計測方法 | 366 | 6.2 微小化への対応 | 368 |
| 3.1 衝撃試験 | 366 | 6.3 複合化技術 | 370 |

第7節 熱膨張計測法 <岡路正博> ... 372

| | | | |
|-----------------------|-----|-----------------|-----|
| まえがき | 372 | 格について | 378 |
| 1. 熱膨張測定法 | 372 | 2.1 標準試料 | 378 |
| 1.1 要素技術 | 372 | 2.2 標準データ | 378 |
| 1.2 測定装置の実際 | 373 | 2.3 日本工業規格（JIS） | 379 |
| 2. 標準試料・標準データ，および測定の規 | | | |

第8節 摩擦・摩耗の計測法 <上村正雄> ... 381

| | | | |
|----------------------|-----|-------------|-----|
| 1. 摩擦の計測 | 381 | 2. 摩耗の計測 | 384 |
| 1.1 静摩擦の計測 | 381 | 2.1 一般的な計測法 | 385 |
| 1.2 動摩擦の基本的な計測 | 381 | 2.2 微量摩耗の計測 | 385 |
| 1.3 平行ばね等による計測 | 383 | 2.3 摩耗の力速計測 | 386 |
| 1.4 ねじり棒式トルクメータによる計測 | 384 | 2.4 特殊な計測法 | 386 |

第9節 パターン寸法計測法 <山口 武> ... 387

| | | | |
|-------------------|-----|---------------|-----|
| 1. 概要 | 387 | 3.1 通常光学顕微鏡方式 | 390 |
| 2. レチクル，マスク計測 | 388 | 3.2 レーザ走査方式 | 390 |
| 2.1 微小寸法測定 | 388 | 3.3 共焦点レーザ方式 | 391 |
| 2.2 長寸法（座標）測定 | 389 | 3.4 SEM による測長 | 392 |
| 3. ウェーハ上パターンの寸法計測 | 390 | あとがき | 394 |

| | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----|
| 第10節 粒子径, 粒径分布計測法 | <中江 茂> ... | 395 |
| まえがき | | 395 |
| 1. 気相中の粒子計測 | | 395 |
| 1.1 粒径分解能 | | 395 |
| 1.2 粒子再循環 | | 396 |
| 1.3 同時計数 | | 396 |
| 1.4 粒径区分 | | 396 |
| 1.5 計数効率 | | 396 |
| 2. 液相中の粒子計測 | | 396 |
| 3. 表面上の粒子計測 | | 398 |
| あとがき | | 399 |
| 第11節 膜厚, 膜厚分布測定 | <橋本 満> ... | 400 |
| まえがき | | 400 |
| 1. 膜厚の測定法 | | 401 |
| 1.1 楕円偏光解析法 (エリプソメトリ) | | 401 |
| 1.2 レーザ共焦点顕微鏡 | | 404 |
| 1.3 触針法 | | 404 |
| 1.4 SEM | | 405 |
| 1.5 断面 TEM (X-TEM) | | 405 |

第4編 超精密生産用制御技術

第1章 機械制御

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-----|
| 第1節 超精密位置決め, 速度制御技術 | <金井 彰> ... | 411 |
| 1. 超精密加工機械における超精密位置決め機構 | 機構の例 | 411 |
| 2. 超精密位置決め機構の構成要素 | | 411 |
| 2.1 アクチュエータ | | 412 |
| 2.2 運動伝達・変換要素 | | 413 |
| 2.3 変位検出器 | | 414 |
| 2.4 案内機構 | | 414 |
| 2.5 数値制御装置 | | 416 |
| 3. 超精密加工機械における位置決め制御機 | 構の例 | 416 |
| | 3.1 ボールねじ+油静圧案内+レーザ測 | 416 |
| | 長器 | 416 |
| | 3.2 ボールねじ+転がり案内+リニアス | 417 |
| | ケール | 417 |
| | 3.3 静圧ねじ+静圧案内+レーザ測長器 | 417 |
|  | ..... | 417 |
| | 3.4 力操作型油圧アクチュエータ+滑り | 419 |
| | 案内+レーザ測長器 | 419 |
| 第2節 超精密加工計測機械の直線位置決め技術 | <鈴木 弘> ... | 420 |
| まえがき | | 420 |
| 1. 超精密位置決め装置 | | 420 |
| 2. 位置決め誤差検出センサ | | 421 |
| 3. 制御システム | | 422 |
| 4. 制御特性の限界 | | 423 |
| 5. 運動誤差のリアルタイム補償 | | 423 |
| あとがき | | 423 |
| 第3節 アドバンス制御 | <竹内芳美> ... | 425 |
| まえがき | | 425 |
| 1. 適応制御とフィードフォワード制御 ... | | 425 |
| 2. 自由曲面の超精密微細加工機の制御 ... | | 426 |
| 3. 拘束軸によるクローズド構造制御 | | 427 |

第2章 インプロセス制御・光制御

| | | |
|--------------------------|------------------------------|-----|
| 第1節 センシング技術 | <大見忠弘/森田瑞穂> ... | 430 |
| まえがき | | 430 |
| 1. プロセスパラメータ計測技術 | | 430 |
| 2. プロセス環境計測技術 | | 432 |
| 3. プラズマパラメータ計測技術 | | 433 |

12 目次

| | | |
|------------------------------|-----------|-----|
| 第2節 インプロセス制御の実際 | <市川文雄> .. | 439 |
| まえがき | | 439 |
| 1. 薄膜形成工程制御 | | 439 |
| 1.1 CVD工程におけるインプロセス制御 | | 439 |
| 1.2 スパッタ工程におけるインプロセス制御 | | 442 |
| 2. エッチング工程でのインプロセス制御 | | 442 |
| 2.1 プラズマ診断技術 | | 443 |
| 2.2 終点検出法 | | 445 |
| あとがき | | 445 |
| 第3節 波長安定化 | <梅田倫弘> .. | 447 |
| まえがき | | 447 |
| 1. 波長安定化の原理 | | 447 |
| 1.1 レーザの発振周波数 | | 447 |
| 1.2 波長安定化制御の基礎 | | 448 |
| 2. 各種波長安定法 | | 448 |
| 2.1 ヨウ素安定化レーザ | | 449 |
| 2.2 2モード安定化レーザ | | 450 |
| 2.3 ゼーマンレーザ | | 451 |
| あとがき | | 454 |

第5編 超精密のための分析技術

■第1章 概要

| | | |
|------------------------------------|-----------|-----|
| 第1節 超精密のための分析技術の必要性 | <水原和行> .. | 459 |
| まえがき | | 459 |
| 1. LSI製造 | | 459 |
| 2. マイクロマシン | | 462 |
| 3. 光学機器 | | 463 |
| 第2節 表面・界面のキャラクタリゼーション | <工藤正博> .. | 466 |
| まえがき | | 466 |
| 1. 表面・界面のキャラクタリゼーションの内容 | | 466 |
| 2. 物質と1次プローブとの相互作用 | | 467 |
| 3. さまざまな解析手法とその特徴 | | 469 |
| 4. 評価に要求される厳密さ | | 469 |
| あとがき | | 470 |

■第2章 電磁波を利用する分析法

| | | |
|--------------------------|----------------|-----|
| 第1節 赤外吸収分光法 | <寺前紀夫/新井紀男> .. | 472 |
| 1. 赤外分光法の概略 | | 472 |
| 2. 測定装置 | | 472 |
| 3. 試料調整法の概要 | | 472 |
| 4. 透過法 | | 473 |
| 4.1 固体試料の取扱い方法 | | 474 |
| 4.2 液体試料の取扱い方法 | | 474 |
| 4.3 気体試料の取扱い方法 | | 475 |
| 5. 特殊な測定法 | | 475 |
| 5.1 赤外二色性の測定 | | 475 |
| 5.2 ATR法 | | 475 |
| 5.3 拡散反射法 | | 476 |
| 5.4 RAS法 | | 476 |
| 5.5 正反射法 | | 477 |
| 5.6 光音響法 | | 477 |
| 5.7 発光法 | | 478 |
| 5.8 顕微法 | | 478 |
| 第2節 ラマン分光法 | <片桐元> .. | 479 |
| まえがき | | 479 |
| 1. ラマン分光法の原理 | | 479 |
| 2. 装置の構成 | | 480 |
| 3. 試料の前処理 | | 481 |
| 4. ラマン分光法の応用分野 | | 481 |
| 5. 半導体のストレス評価 | | 482 |

| | | | |
|---------------------------------|-----|------------------------------------|------------|
| 6. イオン注入した炭素繊維の傾斜研磨によるデプスプロファイル | 482 | 7. ダイヤモンド状カーボン膜の評価 あとがき | 483 484 |
| 第3節 原子吸光分析法 | | ＜大道寺英弘＞ | 485 |
| 1. 原理 | 485 | 2.2 バックグラウンド吸収と補正 | 492 |
| 1.1 吸収 | 485 | 3. 原子吸光分析法の特徴 | 493 |
| 1.2 線幅 | 485 | 4. 応用 | 493 |
| 1.3 原子化 | 487 | 4.1 鉄鋼の分析 | 493 |
| 2. 装置とその使用方法 | 490 | 4.2 非鉄金属の分析 | 493 |
| 2.1 装置 | 490 | 4.3 その他の材料の分析 | 495 |
| 第4節 誘導結合プラズマ発光分光法 | | ＜伊藤哲雅＞ | 497 |
| まえがき | 497 | 3.1 適応元素, 測定範囲 | 500 |
| 1. 原理 | 497 | 3.2 精度, 正確度 | 501 |
| 1.1 測定の原理 | 497 | 3.3 適応試料 | 501 |
| 1.2 プラズマ | 498 | 3.4 測定(分析)速度 | 501 |
| 1.3 定量, 定性分析 | 498 | 4. 誘導結合プラズマ質量分析法 | 501 |
| 2. 装置 | 499 | 5. 応用例 | 502 |
| 2.1 試料導入部 | 499 | 6. 試料作成法 | 502 |
| 2.2 ICP 発光部 | 499 | 6.1 試料前処理の一般原理 | 502 |
| 2.3 分光部 | 500 | 6.2 試料分解 | 502 |
| 2.4 測光部 | 500 | 6.3 干渉, 操作条件 | 503 |
| 3. 性能仕様 | 500 | | |
| 第5節 蛍光 X 線分析法 | | ＜谷口一雄＞ | 504 |
| まえがき | 504 | 3.1 X 線の全反射 | 506 |
| 1. X 線の発生 | 504 | 3.2 全反射蛍光 X 線法 | 507 |
| 2. 蛍光 X 線分析法 | 505 | 3.3 装置の構成 | 507 |
| 3. 全反射蛍光 X 線法 | 506 | 3.4 TXRF による分析 | 509 |
| 第6節 微小部 X 線分析法 | | ＜元山宗之＞ | 512 |
| まえがき | 512 | 4. 状態分析 | 521 |
| 1. EPMA の原理, 装置 | 512 | 5. 最近の進歩 | 524 |
| 1.1 電子線照射により起こる諸現象 | 512 | 5.1 ナノプローブ透過電子顕微鏡 | 524 |
| 1.2 装置の基本構成と動作原理 | 513 | 5.2 高分解能透過走査電子顕微鏡(STEM) | 524 |
| 2. 試料調整法 | 518 | 5.3 放射光マイクロ X 線ビームによるミ クロ X 線分析 | 524 |
| 3. EPMA で得られるデータ | 518 | あとがき | 525 |
| 3.1 電子線による表面観察 | 518 | | |
| 3.2 X 線分析 | 519 | | |
| 第7節 広域 X 線吸収微細構造解析法 | | ＜竹田美和＞ | 527 |
| 1. 原理 | 527 | 1.5 X 線吸収端微細構造 | 529 |
| 1.1 広域 X 線吸収微細構造とは | 527 | 2. 装置 | 529 |
| 1.2 EXAFS 振動の発生原理 | 527 | 2.1 EXAFS 信号の測定法 | 529 |
| 1.3 EXAFS 振動の理論式 | 528 | 2.2 X 線の測定 | 529 |
| 1.4 標準試料でのパラメータの決定 | 528 | 2.3 電子線の測定 | 530 |

14 目次

| | | | |
|-------------------|-----|-----------------|-----|
| 3. 性能仕様 | 530 | 4.1 薄膜の測定 | 531 |
| 3.1 透過法と蛍光法 | 530 | 4.2 希釈混晶 | 531 |
| 3.2 感度と分解能 | 531 | 4.3 その他の例 | 531 |
| 4. 応用例 | 531 | 5. 試料作成法 | 532 |

■第3章 電子を利用する分析法

| | | | |
|-------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 第1節 X線光電子分光法 | | <奥正興> .. | 534 |
| まえがき | 534 | 2.3 試料ステージ | 539 |
| 1. 原理 | 534 | 3. 試料調製 | 539 |
| 1.1 スペクトルにおける位置と波形 .. | 534 | 4. 応用例 | 540 |
| 1.2 強度および定量分析 | 537 | 4.1 化学シフトによる状態分析 | 540 |
| 2. 装置 | 538 | 4.2 表面とバルク結合状態との区別と固体 | |
| 2.1 X線源 | 539 | / 固体界面分析 | 540 |
| 2.2 2次元局所分析 | 539 | | |
| 第2節 オージェ電子分光法 | | <本間禎一> .. | 543 |
| 1. 原理 | 543 | 3. 試料作成法と応用例 | 548 |
| <AESの原理> | 543 | <試料の作成と分析法> | 548 |
| 2. 装置とその性能・仕様 | 547 | 4. 応用例 | 548 |
| 2.1 装置の構造 | 547 | 4.1 薄膜・多層膜の深さ方向分析 | 548 |
| 2.2 装置の性能・仕様 | 547 | 4.2 へき開面の AES 分析 | 548 |
| 第3節 電子エネルギー損失分光法 | | <田口幸広/西嶋光昭> .. | 550 |
| まえがき | 550 | 2. HREELS 装置 | 551 |
| 1. 電子のエネルギー損失機構 | 550 | 3. 測定例 | 553 |
| 第4節 低速電子を利用した分析法 | | <水原和行> .. | 557 |
| まえがき | 557 | 1.1 IETS (非弾性電子トンネル分光法) | |
| 1. エキソエレクトロンを用いる方法 | 557 | 1.2 UPS (真空紫外光電子分光法) .. | 560 |
| 1.1 IETS (非弾性電子トンネル分光法) | | 1.3 STS (走査トンネル電流分光法) .. | 561 |
| 第5節 電子線回折法 | | <一宮彪彦> .. | 565 |
| まえがき | 565 | 1.6 電子回折を用いた組成分析 | 571 |
| 1. 原理 | 565 | 2. 装置 | 572 |
| 1.1 電子波の性質 | 565 | 2.1 低速電子回折装置 | 572 |
| 1.2 逆格子 | 565 | 2.2 反射高速電子回折装置 | 572 |
| 1.3 ラウエ関係 (有限結晶に対する逆格 | | 3. 試料作成法 | 573 |
| 子) | 567 | 3.1 透過回折における試料作成法 | 573 |
| 1.4 薄膜からの透過回折 | 567 | 3.2 反射電子回折の試料作成 | 574 |
| 1.5 反射電子回折 | 568 | | |

―第4章 イオンや荷電粒子を利用する分析法

| | | | |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 第1節 レーザマイクロプローブ質量分析法 | | <古谷圭一/津越敬寿> .. | 576 |
| 1. 原理 | 576 | 2. 装置 | 577 |

| | | | |
|---|-----|--|-----|
| 3. 性能仕様 | 578 | 4.3 金属試料 | 580 |
| 4. 応用例 | 578 | 5. 試料作成法 | 581 |
| 4.1 有機物試料 | 578 | 5.1 試料固定法 | 581 |
| 4.2 無機物試料 | 579 | 5.2 前処理 | 581 |
| 第2節 2次イオン質量分析法 | | <工藤正博> | 584 |
| まえがき | 584 | 2.1 定量法 | 587 |
| 1. SIMSの基礎 | 584 | 2.2 デプスプロファイル | 588 |
| 1.1 SIMSの原理 | 584 | 2.3 最表面、界面における定量分析 | 589 |
| 1.2 装置 | 584 | 2.4 絶縁物分析 | 590 |
| 1.3 2次イオンの発生とマトリックス効果 | 585 | 2.5 微小領域分析 | 590 |
| 2. ダイナミックSIMSによる高感度不純物分析 | 587 | 3. スタティックSIMSによる表面分析 | 591 |
|  |  | ..... | 591 |
| | | あとがき | 592 |
| 第3節 ラザフォード後方散乱分光法 | | <小山昭雄/宇田応之> | 593 |
| 1. 原理 | 593 | 2. 装置 | 596 |
| 1.1 ラザフォード後方散乱法 | 593 | 3. RBS法の応用例 | 596 |
| 1.2 チャネリング法 (channeling method) | 595 | 3.1 深さ分布測定を利用した例 | 596 |
| | | 3.2 チャネリング法の応用例 | 598 |
| 第4節 イオン散乱分光法 | | <平木昭夫/伊藤利道/森 勇介/八木弘雄> | 601 |
| 1. イオン散乱の種類 | 601 | 4. シリコン表面の水素 | 603 |
| 2. ISSの原理 | 601 | 5. 多孔質シリコン中の水素 | 605 |
| 3. ERDAの原理 | 602 | | |
| 第5節 集束イオンビーム法 (原理, 装置, 性能仕様, 応用例, ほかの分析法にかけるための前処理としての試料作成法) | | <足立達哉> | 607 |
| まえがき | 607 | 4.1 回路修正, デバイス評価 | 611 |
| 1. 背景 | 607 | 4.2 断面観察 | 611 |
| 2. 原理 | 607 | 4.3 Al結晶粒観察 | 612 |
| 〈FIB技術〉 | 607 | 4.4 TEM試料作成 | 612 |
| 3. 特定個所の位置出し | 611 | あとがき | 612 |
| 4. 応用例 | 611 | | |

第6編 超精密計測・制御の実際

■第1章 超精密部品製作時の計測の実際

| | | | |
|-----------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 第1節 製造装置用部品の計測 | | <上野 滋> | 617 |
| 1. 部品精度の計測 | 617 | 3. 送り駆動用ねじの測定 | 619 |
| 2. 真直テーブル用案内面の計測 | 618 | 4. 回転主軸の計測 | 619 |

第2節 工具の精度計測

| | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----|
| 【1】ダイヤモンド工具刃先形状の精度測定 | <浅井昭一> ... | 621 |
| まえがき | | 621 |
| 1. SEMの反射電子による立体形状の測定 | 2.1 装置の構成と測定法 | 621 |
| 2. SEMの2次電子による測定 | 2.2 切れ刃残丸み半径の算出法 | 622 |
| | 2.3 測定例 | 624 |
| 【2】砥石ツルージング精度測定 | <田村利夫> ... | 626 |
| まえがき | | 626 |
| 1. 砥石作業面の評価項目および従来の評価法 | 2. 砥石深さ方向の砥粒切れ刃高さ分布の測定法 | 626 |
| | 3. 今後への期待 | 629 |
| 【3】ラッピングパウダと粒度測定 | <越山 勇/北野七彦> ... | 631 |
| まえがき | | 631 |
| 1. 研磨材の粒度測定方法 | 3. 粒度分布とラッピング特性 | 631 |
| 1.1 JISの粒度測定方法 | 3.1 粒度と加工状態 | 631 |
| 1.2 JIS以外の粒度測定法 | 3.2 粒度分布幅と加工状態 | 633 |
| 2. 測定方法による粒度結果の違い | 4. 粒度測定精度 | 636 |
| | あとがき | 640 |

第3節 治具の計測

| | | |
|--|--|-----|
| 【1】定盤精度の測定 | <三井公之> ... | 641 |
| 1. 精密定盤 | 4.1 画像処理装置および測定面 | 641 |
| 2. 定盤の精度測定 | 4.2 3次元測定機による平面度測定結果とすり合せ面の当たりとの関連 | 641 |
| 3. 平面度測定に関する最近の研究成果 | | 642 |
| 4. きさげ面の評価 | | 643 |
| 【2】チャック精度の測定 | <上野 滋> ... | 647 |
| 【3】センタ・センタ穴の形状精度と回転精度 | <加藤秀雄/中野嘉邦> ... | 649 |
| まえがき | 3.2 理論的検討 | 649 |
| 1. センタの真円度 | 4. 機上回転精度測定法 | 649 |
| 2. センタ穴の真円度 | 4.1 3点法とn点法の原理 | 650 |
| 3. センタ支持された物体の回転精度 | 4.2 円筒研削における機上回転精度測定・補正法 | 650 |
| 3.1 実験的検討 | | 650 |
| 【4】触針先端形状の測定 (表面粗さ計用触針, STM・AFM用探針先端形状) | <宮本岩男> ... | 661 |
| まえがき | | 661 |
| 1. 高精度段差測定器を利用した先端形状の測定 | 3. 原子間力顕微鏡を利用した先端形状の測定 | 661 |
| 2. 3次元形状測定器を利用した先端形状の測定 | 4. 走査型電子顕微鏡を利用した先端形状の測定 | 661 |
| 2.1 2次元形状の測定法と触針先端形状の測定結果 | 5. 透過型電子顕微鏡を利用した先端形状の測定 | 662 |
| 2.2 3次元形状の測定法と触針先端形状の測定結果 | 6. 電界イオン顕微鏡を用いた先端形状の測定 | 663 |
| | あとがき | 664 |

■第2章 装置組立て時の計測の実際

| | | |
|-------------------------------|---------------------|-----|
| 第1節 レーザ干渉測長器の組立て | <高田孝次> ... | 666 |
| 1. レーザ干渉測長における留意点 | 1.1 レーザ波長の安定度 | 666 |

| | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 1.2 戻り光の排除 | 666 | ..... | 667 |
| 1.3 移動方向の弁別 | 666 | 2.2 単周波レーザを用いた干渉測長器 | 668 |
| 1.4 光量変動の影響の排除 | 667 | ..... | 668 |
| 1.5 分解能の向上 | 667 | 3. 空気中でのレーザ波長の変動および被測定物の熱膨張 | 670 |
| 2. レーザ干渉測長器の例 | 667 | 4. 多軸測定への応用例 | 671 |
| 2.1 2周波レーザを用いた干渉測長器 | 667 | | |
| 第2節 装置主要部の精度と計測 | | | |
| 【1】 動圧回転主軸における測定と調整 | <近藤定巳 / 中川昌夫> .. | | 672 |
| まえがき | 672 | 2.3 回転精度 | 675 |
| 1. 動圧主軸の原理, 構造および特徴 | 672 | 2.4 軸受剛性 | 675 |
| 2. 動圧主軸の計測および調整 | 674 | 2.5 温度上昇 | 676 |
| 2.1 主軸・軸受の形状精度 | 674 | あとがき | 677 |
| 2.2 軸受すき間の測定 | 675 | | |
| 【2】 転がり軸受主軸における測定と調整 | <中村晋哉> .. | | 678 |
| まえがき | 678 | 3. 精密旋盤主軸における回転精度 | 680 |
| 1. 主軸の回転精度の要因 | 678 | 3.1 精密旋盤の高速・高精度化 | 680 |
| 2. 部品組付精度の影響 | 678 | 3.2 精密旋盤主軸の構造 | 680 |
| 2.1 軸・ハウジングの精度とはめあい | 678 | 3.3 回転精度の測定評価システム | 682 |
| 2.2 組付精度 | 679 | 3.4 部品・組付精度の影響 | 683 |
| | | あとがき | 684 |
| | | | |
| 第3節 装置組立て時の計測と調整 | | | |
| 【1】 超精密加工・組立て・計測時の保持・固定方法に関する問題点 | <田中克敏> .. | | 686 |
| まえがき | 686 | 4. 加工物の保持 | 689 |
| 1. 超精密加工, 組立て, 計測における心出し, 位置決めの基本 | 686 | 4.1 薄板の固定 | 690 |
| 2. ボルトによる締付け | 687 | 4.2 真空チャックの吸着溝, 孔の形状 | 690 |
| 2.1 締付けによる部材の変形(丸物) | 687 | 4.3 真空チャック形状の加工精度への影響 | 691 |
| 2.2 締付けによる部材の変形(長物) | 688 | | |
| 3. 締付け位置の影響 | 688 | | |
| 【2】 スティックスリップの測定と低減 | <諸貫信行> .. | | 693 |
| 1. スティックスリップの発生原理 | 693 | 3.2 案内面の配置による対策 | 695 |
| 2. スティックスリップの測定法 | 694 | 3.3 滑り面材質の変更による対策 | 695 |
| 3. スティックスリップの低減法 | 695 | 3.4 駆動系の剛性向上による対策ほか | 695 |
| 3.1 案内方式の変更による対策 | 695 | | |
| 【3】 接合面の変形・動特性と摩擦 | <小泉忠由> .. | | 697 |
| まえがき | 697 | 2. 転がり出しの挙動 | 699 |
| 1. 接合面の変位・変形特性 | 697 | 3. 非線形な摩擦力作用下の振動減衰特性 | 700 |
| 1.1 垂直方向変位 | 697 | 4. 摩 擦 | 700 |
| 1.2 接線方向変位 | 698 | | |
| 【4】 磁気式正弦波エンコーダを用いた AC サーボシステムの速度高精度制御 | <桑野好文 / 関口時雄> .. | | 703 |
| まえがき | 703 | 2. 2相正弦波エンコーダの高分解能化手法 | 704 |
| 1. エンコーダ高分解能化の手法 | 703 | | |

18 目次

| | | | |
|------------------------------------|-----|---------------------|------------|
| 2.1 磁気式正弦波エンコーダの構造 | 704 | 2.3 MR センサの第3高調波除去 | 706 |
| 2.2 正弦波エンコーダによる通倍回路の構成 | 704 | 3. 正弦波エンコーダを用いた速度制御 | 707 |
| 【5】コンプライアンス制御の実際 | | あとがき | 708 |
| 1. コンプライアンス制御 | 709 | | <杉本浩一> 709 |
| 【6】超精密テーパローラ軸受の組付けと回転精度について | | 2. 適用例 | 712 |
| まえがき | 714 | 3. 組付け要領 | 715 |
| 1. 精密テーパローラ軸受の回転精度と規格 | 714 | 4. プリロードの調整 | 715 |
| 2. 関連部品の精度 | 715 | 5. アプリケーション測定例 | 716 |

■第3章 超精密加工のインプロセス計測・制御の実際

| | | | |
|-----------------------------|-----|-------------------------------|-------------------|
| 第1節 複雑形状工作物の心なし研削 | | | <高巢周平> 717 |
| まえがき | 717 | | 723 |
| 1. 工作物の形状の特徴と分類 | 717 | 3.3 最適な幾何学的設定条件 | 723 |
| 2. 不釣合い工作物の心なし研削 | 718 | 3.4 実験結果 | 724 |
| 2.1 不釣合い工作物の種類 | 718 | 4. 段付きシャフトの心なし研削 | 725 |
| 2.2 軸方向不釣合い工作物 | 719 | 4.1 段付きシャフトの心なし研削における工作物揺動の条件 | 725 |
| 2.3 半径方向不釣合い工作物 | 720 | 4.2 工作物の回転制動条件 | 726 |
| 2.4 2方向不釣合い工作物 | 721 | 4.3 実験結果とその考察 | 727 |
| 3. 切欠きを有する工作物の心なし研削 | 722 | 5. 軸部とスラスト面の2面同時心なし研削 | 728 |
| 3.1 心なし研削加工における成円機構 | 722 | | |
| 3.2 切欠きによる研削幅の周期的変動 | | | |
| 第2節 加工力の計測・制御 | | | |
| 【1】加工力・加工動力の測定 | | | <榊田正美> 730 |
| まえがき | 730 | 5.3 ノイズとドリフト | 734 |
| 1. 測定方式の比較 | 730 | 5.4 微小な加工力測定 | 735 |
| 2. 加工力の測定 | 731 | 5.5 加工力と切削機構 | 735 |
| 3. 加工トルクの測定 | 732 | 5.6 内周刃研削切断 | 736 |
| 4. 加工動力の測定 | 732 | 5.7 微小トルクの高速測定 | 736 |
| 5. 加工力のインプロセス計測事例 | 734 | 6. センサの集約化 | 736 |
| 5.1 比加工エネルギー | 734 | あとがき | 737 |
| 5.2 結晶粒の微小切込み加工 | 734 | | |
| 【2】センサ付き砥石, センサ付きバイト | | | <光石 衛 / 割澤伸一> 738 |
| 第3節 振動の計測・制御 | | | |
| 【1】加工におけるびびり振動 | | | <榊田正美> 742 |
| まえがき | 742 | 2.2 油圧源に起因した強制振動 | 744 |
| 1. 強制びびり振動の種類と抑制策 | 742 | 2.3 空圧源に起因した強制振動 | 745 |
| 2. 強制びびり振動の振動源の測定と評価 | 742 | 2.4 送り系に起因した強制びびり振動 | 745 |
| 2.1 主軸駆動モータに起因した強制振動 | 743 | 2.5 断続切削・研削に起因した強制振動 | 746 |

| | | | |
|--|-----|-------------------------------------|-----|
| 2.6 不平衡工具に起因した強制振動 | 747 | 3. 強制びびり振動のインプロセス計測 ... | 749 |
| 2.7 床振動に起因した強制びびり振動 | 748 | 3.1 砥石の不平衡量の測定 | 749 |
| 【2】 自励びびり振動 | | 3.2 工作物主軸の不平衡量の測定 | 749 |
| まえがき | 751 | あとがき | 750 |
| 1. 研削加工における振動モデル | 751 | <鴻巣健治> ... | 751 |
| 第4節 工具損傷状態の計測・制御 | | 2. 研削作業で発生する自励びびり振動の特 徴 | 754 |
| 【1】 工具損傷の検知 | | | |
| まえがき | 757 | | |
| 1. 切削工具の損傷形態と損傷検知方法の分 類 | 757 | 2.4 切削動力による検知方法 | 760 |
| 2. 工具摩耗の検知方法 | 757 | 2.5 切削抵抗による検知方法 | 760 |
| 2.1 寸法計測による検知方法 | 757 | 2.6 切削温度による検知方法 | 761 |
| 2.2 電気抵抗を利用した検知方法 | 758 | 2.7 音波による検知方法 | 761 |
| 2.3 光学的手法による検知方法 | 758 | 3. 工具破損の検知方法 | 762 |
| 【2】 工具寿命の予知 | | 3.1 直接的な工具破損の検知方法 | 762 |
| 1. 切削力の監視による工具寿命予知 | 766 | 3.2 間接的な工具破損の検知方法 | 762 |
| 1.1 ドリルの寿命予知 | 766 | <鈴木由郎> ... | 766 |
| 1.2 旋削状態のインプロセス検知 | 768 | 2.1 回転工具の寿命予知 | 769 |
| 2. AEの検知による工具寿命予知 | 769 | 2.2 旋削工具の寿命予知 | 770 |
| | | 3. 複数の検知方法による工具寿命の予知 | 770 |
| 第5節 超精密加工表面状態の計測・制御技術 | | <三好隆志> ... | 773 |
| まえがき | 773 | 2. 超精密研磨加工面粗さのインプロセス計 測技術 | 777 |
| 1. 超精密ダイヤモンド切削面粗さのイン プロセス計測技術 | 773 | 2.1 理論解析 | 777 |
| 1.1 測定原理 | 773 | 2.2 測定方法 | 778 |
| 1.2 測定システムの機器構成 | 774 | 2.3 測定結果 | 778 |
| 1.3 測定結果 | 776 | あとがき | 779 |
| 第6節 温度・熱変形の計測・制御 | | <西脇信彦> ... | 780 |
| 1. 熱変形と温度 | 780 | 6. 熱剛性の概念 | 782 |
| 2. 従来の対策 | 780 | 7. 新しい概念に基づく簡単な評価方法 ... | 783 |
| 3. 工作機械の熱変形の考え方 | 780 | 7.1 定常状態 | 783 |
| 4. 水槽モデルによる熱変形防止対策の物理 的意味 | 781 | 7.2 非定常状態 | 783 |
| 5. 工作機械の熱エネルギー・バランス ... | 782 | 8. 変動熱源に対する考え方 | 784 |
| | | 9. 熱変形抑制策 | 785 |
| 第7節 加工系への測定器挿入の影響 | | <梶田正美> ... | 786 |
| 1. 測定の条件 | 786 | 4.2 180kHz までの測定帯域を有する動 力計 | 790 |
| 2. 加工力の測定精度 | 786 | 4.3 動的切残しの等しい単粒研削 | 792 |
| 3. 加工系への影響 | 787 | 4.4 超精密加工時の加工力のインプロセ ス計測 | 792 |
| 4. 動力計の製作と研削力の測定事例 | 789 | あとがき | 792 |
| 4.1 1.5kHz までの測定帯域を有する動力 計 | 789 | | |

■第4章 半導体・液晶部分の計測・制御の実際

| | | |
|---|------------------------|-----|
| 第1節 真空室内の圧力測定 | <高橋主人> .. | 794 |
| まえがき | | 794 |
| 1. 真空度標準と真空に関する規格 | | 794 |
| 2. 真空計の種類と測定原理 | | 794 |
| 2.1 荷重を測定する真空計 | | 794 |
| 2.2 気体の物性値を測定する真空計 .. | | 795 |
| 2.3 気体の密度を測定する真空計 | | 796 |
| 3. ガスの組成と分圧の測定 | | 796 |
| 4. 真空漏れの検出 | | 797 |
| あとがき | | 798 |
| 第2節 プロセス装置内の温度測定（基板温度） | <飯野利喜> .. | 800 |
| 1. 温度測定技術の動向 | | 800 |
| 2. 放射温度計による基板の温度測定 | | 800 |
| 2.1 拡散炉、RTP への適用例 | | 800 |
| 2.2 スパッタ装置への適用例 | | 801 |
| 3. その他の測定法 | | 802 |
| 第3節 膜厚のインプロセス測定 | <斎藤宏之> .. | 804 |
| まえがき | | 804 |
| 1. 成膜プロセス装置とそのモニタ | | 804 |
| 1.1 真空蒸着装置 | | 804 |
| 1.2 スパッタ装置 | | 804 |
| 1.3 CVD 装置 | | 804 |
| 2. 膜厚のモニタリングの基本 | | 804 |
| 3. 実際のインプロセス測定器 | | 805 |
| 3.1 水晶発振式成膜コントローラ | | 805 |
| 3.2 原子吸光式成膜コントローラ | | 806 |
| 3.3 エリプソモニタ | | 807 |
| 第4節 コーティング材質測定 | <前田和夫> .. | 810 |
| 1. 半導体・液晶部品製造におけるコーティング | | 810 |
| 2. コーティング材料とその目的 | | 810 |
| 2.1 VLSI におけるコーティング材料 | | 810 |
| 2.2 TFT におけるコーティング材料 .. | | 811 |
| 2.3 目的からみたコーティング材料 .. | | 811 |
| 3. コーティング材料への要求性能 | | 813 |
| 3.1 要求性能の意義 | | 813 |
| 3.2 電極材料 | | 813 |
| 3.3 半導体材料 | | 813 |
| 3.4 絶縁膜材料 | | 813 |
| 3.5 微細加工用補助材料 | | 814 |
| 4. 各種薄膜の物性評価法 | | 814 |
| 5. 今後の展望 | | 814 |
| 第5節 鏡面ウェーハ評価と研磨のインプロセス制御（魔鏡） | <釘宮公一> .. | 816 |
| まえがき | | 816 |
| 1. 魔鏡とは | | 816 |
| 2. 魔鏡トポグラフ | | 817 |
| 2.1 魔鏡の原理 | | 817 |
| 2.2 魔鏡トポグラフ装置とその感度 .. | | 817 |
| 2.3 魔鏡トポグラフの計測の対象 | | 819 |
| 3. 鏡面 Si ウェーハの評価 | | 819 |
| 4. Si ウェーハ鏡面研磨プロセスの制御 | | 821 |
| 5. ほかの鏡面評価の例 | | 821 |
| あとがき | | 822 |
| 第6節 半導体プロセス装置の評価 | | |
| 【1】 位置合せ精度の測定 | <押田良忠> .. | 823 |
| まえがき | | 823 |
| 1. 露光に必要な位置合せ精度 | | 823 |
| 2. アライメント技術 | | 823 |
| 2.1 アライメント検出 | | 824 |
| 2.2 アライメントシステム | | 824 |
| 3. アライメント精度の評価 | | 825 |
| 3.1 光学的なアライメント評価法 | | 826 |
| 3.2 走査電子顕微鏡によるアライメント | | 828 |
| 3.2 走査電子顕微鏡によるアライメント | | 828 |
| 3.2 走査電子顕微鏡によるアライメント | | 828 |
| 4. フォーカス技術 | | 828 |

| | | | |
|-----------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 4.1 ウェーハの高さと傾きの検出 | 829 | 5. フォーカス精度の評価 | 830 |
| 4.2 フォーカスオフセット補正 | 830 | | |
| 【2】 プロセス装置内の汚染の原因と評価 | 832 | ＜飯野利喜＞ | 832 |
| まえがき | 832 | | 832 |
| 1. 装置内における基板の汚染の原因 | 832 | 2.2 ガス中の超微量不純物の分析 | 834 |
| 2. 基板の汚染とその評価の具体例 | 832 | 2.3 異物解析技術 | 835 |
| 2.1 真空装置における油蒸気の逆拡散 | | | |
| 【3】 LSI パターン欠陥検出技術 | 837 | ＜窪田仁志＞ | 837 |
| まえがき | 837 | 4.1 欠陥検出原理 | 839 |
| 1. 欠陥の種類と欠陥寸法 | 837 | 4.2 カスケードパターンマッチング欠陥 検出アルゴリズム | 840 |
| 2. パターン欠陥検出方式 | 837 | 5. 今後の動向 | 843 |
| 3. 光学的処理によるパターン欠陥検査 | 838 | | |
| 4. 画像処理によるパターン欠陥検査 | 839 | | |

■第5章 光学部品の計測の実際

| | | | |
|-----------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 第1節 精度測定 | 844 | ＜押田良忠＞ | 844 |
| まえがき | 844 | 6. 曲率半径の測定 | 847 |
| 1. 光学部品の表面形状の測定方法 | 844 | 7. 回転対称2次曲面の精度測定 | 847 |
| 2. 平面および球面の精度測定 | 844 | 8. 回転対称2次曲面以外の非球面の精度測 定 | 847 |
| 3. 干渉計測の精度と範囲 | 845 | 9. レンズ、ポリゴンミラーの精度測定 | 848 |
| 4. 大口径部品と高NA部品の測定 | 845 | | |
| 5. 精度の悪い平面の測定 | 846 | | |
| 第2節 光学特性 | 850 | ＜石灰勲夫＞ | 850 |
| まえがき | 850 | 5. 表面粗さ測定 | 855 |
| 1. 屈折率、分散 | 850 | 5.1 接触式表面粗さ測定 | 855 |
| 2. 透過と反射 | 850 | 5.2 非接触式粗さ測定 | 855 |
| 3. 脈理・泡・ひずみ | 852 | あとがき | 856 |
| 4. 表面形状（平面と球面）測定と評価 | 854 | | |
| 第3節 光ディスクにおける計測 | 857 | ＜吉井正樹＞ | 857 |
| 1. 光ディスクの概要 | 857 | 4.1 表面粗さの測定 | 858 |
| 2. 原盤 | 857 | 4.2 ピット・グループの形状測定 | 859 |
| 3. スタンパ | 858 | 4.3 基板複屈折の測定 | 859 |
| 4. レプリカ（基板） | 858 | 4.4 基板の形状測定 | 861 |
| 第4節 天体望遠鏡における計測と制御（主鏡能動支持） | 863 | ＜田中 済＞ | 863 |
| まえがき | 863 | 2. 能動支持アクチュエータ | 865 |
| 1. 鏡面形状計測の方法 | 863 | 3. 能動支持の実際 | 865 |

■第6章 超精密機械部品の計測の実際

| | | | |
|---|-----|-----------------------|-----|
| 第1節 ブロックゲージおよびシリコン段差の絶対測定と倍率校正への応用 | 867 | ＜坂野憲幾＞ | 867 |
| まえがき | 867 | 1. ブロックゲージの寸法測定と精度の維持 | |

22 目次

| | | | | |
|---------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|-----|
| ..... | 867 | た段差の作製 | ..... | 868 |
| 1.1 ブロックゲージ | ..... | 2.2 シリコンを用いた段差の作製 | ..... | 868 |
| 1.2 ブロックゲージの寸法測定 | ..... | 2.3 シリコンを用いた段差の絶対測定 | ..... | 868 |
| 1.3 ブロックゲージの寸法精度の維持管理 | ..... | 3. 絶対測定した段差による寸法測定（触針式表面粗さ測定器の倍率校正） | ..... | 870 |
| 2. ブロックゲージおよびシリコンを用いた段差の作製と絶対測定 | ..... | あとがき | ..... | 870 |
| 2.1 絶対測定したブロックゲージを用い | ..... |  |  |  |
| 第2節 表面粗さの超精密計測・制御事例 | ..... | ＜柳 和久/小林直規/小林義和＞ | ..... | 872 |
| まえがき | ..... | 2. 事例2（精密研磨テープ） | ..... | 879 |
| 1. 事例1（磁気ディスクとヘッド） | ..... |  |  |  |
| 第3節 形状精度の超精密計測・制御事例 | | | | |
| 【1】 単独形体の形状精度と精度補償 | ..... | ＜金田 徹＞ | ..... | 883 |
| 1. 接触方式と非接触方式 | ..... | 3.4 平面度の評価 | ..... | 889 |
| 2. 真直度の測定事例 | ..... | 4. 真円度・円筒度の測定事例 | ..... | 889 |
| 2.1 逐次2点法 | ..... | 4.1 半径法による測定 | ..... | 889 |
| 2.2 光を使った方法 | ..... | 4.2 回転軸の精度の補正 | ..... | 890 |
| 2.3 真直度の評価 | ..... | 4.3 円筒形状測定への応用 | ..... | 891 |
| 3. 平面度の測定事例 | ..... | 4.4 真円度・円筒度の評価 | ..... | 892 |
| 3.1 光を使った方法 | ..... | 5. 真球度の測定事例 | ..... | 893 |
| 3.2 マルチプローブ混合法 | ..... | 6. 円錐テーパ面形状の測定事例 | ..... | 893 |
| 3.3 2方位法・半径方向シフト法 | ..... |  |  |  |
| 【2】 鏡面上の微小形状の計測 | ..... | ＜釘宮 公一＞ | ..... | 898 |
| まえがき | ..... | ..... | ..... | 901 |
| 1. インプロセス Si ウェーハ評価 | ..... | 4. ハードディスク、光ディスクの評価 | ..... | 902 |
| 2. 接合 Si ウェーハ鏡面の評価 | ..... | 5. 液晶ガラスの評価 | ..... | 902 |
| 3. 化合物半導体や特殊なウェーハの評価 | ..... | あとがき | ..... | 903 |
| 第4節 高精度加工のための計測・制御事例 | ..... | ＜原 誠一/小寺 直/鈴木浩文/中筋智明＞ | ..... | 904 |
| ..... | ..... | 2. 非球面研磨における計測・制御事例 | ..... | 906 |
| まえがき | ..... | 2.1 基本原理 | ..... | 906 |
| 1. 平面切削における計測・制御事例 | ..... | 2.2 加工事例 | ..... | 907 |
| 1.1 基本原理 | ..... | あとがき | ..... | 909 |
| 1.2 加工事例 | ..... |  |  |  |
| 第5節 シリコンウェーハの加工変質層の測定 | ..... | ＜阿部孝夫＞ | ..... | 910 |
| まえがき | ..... | 4. 酸化熱処理による OSF | ..... | 914 |
| 1. シリコンウェーハの加工プロセス | ..... | 5. 酸化膜耐圧の測定 | ..... | 914 |
| 2. 角度研磨とセコーエッチ | ..... | あとがき | ..... | 916 |
| 3. X線トポグラフィ法と TEM 観察 | ..... |  |  |  |
| 第6節 加工表面層のコンタミの同定 | ..... | ＜渡辺正博＞ | ..... | 917 |
| 1. 加工表面層のコンタミ（汚れ） | ..... | 2.1 固体粒子 | ..... | 917 |
| 2. 加工面の汚れとその測定方法 | ..... | 2.2 粒子状汚れのサンプリング | ..... | 919 |

| | | | |
|-------------------------|-----|--------------------|-----|
| 2.3 膜状汚れの測定 | 919 | 2.6 イオン汚染の測定 | 921 |
| 2.4 膜状汚れの濃縮サンプリング | 920 | あとがき | 922 |
| 2.5 吸着物質の分析 | 921 | | |

■第7章 その他の超精密計測の事例

| | | | |
|---------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 第1節 加工面性状の比較・評価 | | ＜鈴木重信＞ | 925 |
| まえがき | 925 | 3. 観察結果 | 926 |
| 1. メカノケミカルポリシング | 925 | 3.1 X線回折法 | 926 |
| 2. 計測方法 | 926 | 3.2 原子間力顕微鏡 | 927 |
| 2.1 X線回折法 | 926 | 3.3 透過電子顕微鏡 | 927 |
| 2.2 原子間力顕微鏡 (AFM) | 926 | あとがき | 928 |
| 2.3 透過電子顕微鏡 (TEM) | 926 | | |
| 第2節 経時変化 | | ＜戸部省吾 / 梶田正美＞ | 930 |
| まえがき | 930 | 3. 超精密な被削材における経時変化 | 932 |
| 1. 材料的見地からの経時変化 | 930 | 4. 薄膜工具の経時変化 | 933 |
| 2. 超精密な加工機・測定機の経時変化 | 931 | あとがき | 933 |