



目次

- 監修のことば
- 超精密生産技術大系 全4巻 第2巻発刊によせて
- 第2巻発刊のことば
- 執筆者一覧

第1編 総論

■第1章 超精密生産技術の概要

- 第1節 实用超精密生産技術の応用分野 <森脇俊道> ... 3
1. 超精密生産技術の定義と特徴 3 2. 超精密生産技術とその応用 3
- 第2節 实用超精密生産技術の変遷 <森脇俊道> ... 6
1. これまでの超精密生産技術 6 3. 半導体の生産技術 7
2. 現在の超精密機械加工 6

■第2章 超精密加工技術と超精密加工機械

- 第1節 超精密加工法とその分類 <森脇俊道> ... 12
- 第2節 超精密加工機械とその分類 <森脇俊道> ... 13

■第3章 超精密生産技術への期待とその将来展望

- 第1節 現状の課題 <森脇俊道> ... 14
1. 超精密生産技術の課題 14 3. 計測・制御技術 15
2. 基礎となる生産技術 15
- 第2節 将来展望 <森脇俊道> ... 16
1. 超精密生産技術の目標 16 2. 超精密生産技術の現状と将来 16

第2編 超精密加工機の基礎

■第1章 緒論

- 第1節 超精密加工と加工機械 <吉田嘉太郎> ... 19
1. 超精密加工の範囲 19 3. ダイヤモンド切削加工技術の現状 20
2. 高品位加工の必要性（ニーズ） 19 4. 超精密加工におけるその他の問題 23

2 目次

5. ファインセラミックスの精密研削加工	23	6. 加工機械とその周辺技術	26
		あとがき	27

第2節 超精密加工機械の概要 <吉田嘉太郎> ... 28

まえがき	28	4. 微小切込み装置	33
1. 超精密工作機械の本体構造	28	5. 超精密研削加工機械	33
2. 超精密工作機械の案内面構造	31	6. 超精密工作機械を取り巻く環境問題	34
3. 超精密工作機械の主軸系	32	あとがき	37

■第2章 超精密加工機械の構成要素

第1節 機械系

【1】主軸系 <青山藤詞郎> ... 38

1. 軸受の選択	38	3. 内部還流型油静圧軸受	40
2. 軸受の高性能化	38	4. 発熱と熱変形の防止	40
2.1 自動調整絞りの採用	39	5. スピンドル構造の選択	40
2.2 複合絞りの採用	39	6. 回転ぶれの防止	42

【2】案内系 <諸貫信行> ... 44

1. 概要	44	3.5 多孔質絞り	47
2. 案内面の特性とスライダ運動精度	44	3.6 その他の高剛性化の工夫	47
3. 静圧案内	45	4. 動圧案内	47
3.1 概要	45	5. 転がり案内	48
3.2 オリフィス, キャピラリ絞り	46	6. ガイド材質と精度	49
3.3 自成絞り	46	あとがき	50
3.4 面絞り	47		

【3】本体構造 <堤正臣> ... 52

1. 本体構造に要求される性能	52	2.3 低重心設計と最適指示位置	54
2. 本体構造設計の基本	52	2.4 本体構造の形状	55
2.1 運動軸の配置	52	3. 構造用材料	55
2.2 フィードバック系の配置と本体構造	53		

【4】切込み装置 <原宣宏> ... 56

まえがき	56	2. 微小切込み装置の例	56
1. 圧電素子	56	3. 工具-工作物間誤差補償装置	59

【5】X-Yテーブル <竹内芳美> ... 63

1. 構成要素	63	3. 超精密加工機の送りテーブル	64
2. 1軸送りテーブル	63	4. ステップのX-Yステージ	64

【6】割出し円テーブル <藤本昭> ... 66

まえがき	66	4.1 ウォームギヤの割出し精度	69
1. NC円テーブルの概要	66	4.2 スケール仕様の割出し精度	69
2. NC円テーブルの構成	66	5. 微小送り	69
3. ウォームギヤ	68	6. 動的精度	70
3.1 ウォームギヤの特徴	68	6.1 回転精度	71
3.2 複リードウォーム	69	6.2 連続割出し精度	71
4. 割出し精度	69	7. 偏心誤差	72

第2節 駆動系

【1】 回転アクチュエータ	<山口義治> ...	73
まえがき		73
1. DDモータの種類と特徴		74
1.1 DCモータ		74
1.2 ブラシレスDCモータ		74
1.3 HB型モータ		75
1.4 VR型モータ		75
2. メガトルクモータ		76
2.1 高トルク化		76
2.2 トルクリップル低減		77
2.3 出力トルクの直線性		77
2.4 位置検出器内蔵		77
2.5 メガトルクモータの性能		78
あとがき		78
【2】 リニアアクチュエータ	<山田 一> ...	79
1. リニア電磁アクチュエータの分類		79
2. リニアアクチュエータの推力/面積比		80
3. 人工心臓駆動用リニアパルスモータ		81
【3】 伝達要素	<大塚二郎> ...	83
1. 送りねじ		83
1.1 ボールねじ		83
1.2 滑りねじ		84
1.3 静圧ねじ		84
2. フリクションドライブ		85
2.1 原理		85
2.2 具体例		85
2.3 滑り特性		86
2.4 ナノメートル精度位置決め		87
3. インチワーム		88

第3節 計測・制御系

【1】 位置検出装置	<上野 滋> ...	90
まえがき		90
1. 位置検出装置		90
2. 速度検出装置		90
3. 加工面形状計測装置		90
4. 砥石形状計測装置		91
5. 研削力・トルク検出装置		92
6. NC装置		93
7. 温度検出装置		93

第4節 付属装置

【1】 工作物取付装置	<吉田嘉太郎> ...	94
まえがき		94
1. 爪チャックについて		94
2. 真空チャックについて		95
3. その他の取付け方法		97
あとがき		97
【2】 工具取付装置	<吉田嘉太郎> ...	100
1. 取付具としての課題		100
2. 微小切込み装置		100
3. 切削力の検知		103
4. その他の取付具		104
【3】 切削・研削油供給装置	<田宮博道> ...	105
まえがき		105
1. 切削・研削油剤の作用と効果		105
1.1 切削油剤		105
1.2 研削油剤		105
2. 切削・研削油剤の種類		105
3. 油剤供給装置		106
3.1 切削加工の場合		106
3.2 研削加工の場合		107
あとがき		109
【4】 油空圧装置	<田宮博道> ...	111
まえがき		111
1. 油圧装置		111
1.1 発熱対策		111
1.2 脈動対策		112
2. 空圧装置		113
2.1 空気圧縮機		113
2.2 アフタクーラ		113
2.3 エアドライヤ		113
2.4 フィルタ		113
あとがき		114

■第3章 超精密加工機の性能

第1節 機械の運動精度

【1】 回転精度	<三井公之> ...	115
まえがき		115
1. 回転精度測定法		115
1.1 リサージュ図形による回転精度評価		115
1.2 マスタ球を用いる方法		116
1.3 ピーク値の変動による測定法		117
1.4 反転法		117
1.5 3点法による回転精度測定法		118
1.6 回転精度の光学的測定法		119
1.7 レーザ干渉計による測定法		119
あとがき		120
【2】 直線運動精度	<下河辺明> ...	121
1. 直線運動とその誤差		121
1.1 運動方向以外の5自由度方向の精度：直線運動精度		121
1.2 運動方向の精度：位置決め精度および運動速度の精度		121
2. 直線運動における位置の精度測定（運動の真直度測定）		121
2.1 固体基準		121
2.2 光学基準		122
2.3 仮想基準		122
2.4 液面基準		123
3. 角度姿勢の精度測定		123
3.1 レーザ干渉計		123
3.2 オートコリメーター		123
3.3 水準器		124
4. 直線運動精度の測定における基準と運動の方向		125
5. 位置決め精度の測定		125
5.1 レーザ干渉計		125
5.2 容量型変位計		126
5.3 光学式リニアエンコーダ		126
【3】 サーボ系の動特性と補償	<下河辺明> ...	127
まえがき		127
1. 位置決め方式		127
2. 位置決め機構の特性		127
3. 位置決めサーボ系の基本例と直列補償		128
3.1 制御系全体の構成		128
3.2 直列補償による制御系設計		128
4. フィードバック補償と2自由度制御		129
4.1 制御系の構成		129
4.2 コントローラ的设计		130
4.3 制御特性の例		131
5. 位置決めの高精度化，高速化の要点		131
5.1 位置決め誤差要因		131
5.2 位置決め高速化		132

第2節 機械の静・動特性

まえがき	<諸貫信行> ...	133
1. 構造材料について		133
2. 開発事例に見る構造，軸受および案内の剛性		134
2.1 アルミナセラミックス製超精密加工機		134
2.2 新素材応用超精密旋盤		134
2.3 市販の超精密旋盤		135
2.4 超精密研削盤		136
2.5 大型鏡面加工機（LODTM）		136
2.6 ユニットその他		137
3. 接合部の減衰について		137

第3節 機械の熱的特性

まえがき	<西脇信彦> ...	139
1. 発熱源と発熱対策		139
2. 切りくずの熱		140
3. 熱変形抑制策		140
4. 簡便な熱変形対策		141

■第4章 超精密加工機の環境とその制御

第1節 機械を取り巻く環境温度とその制御	……………	<森脇俊道>	…	142
まえがき	……………			142
1. 環境温度変化とその影響	……………			142
2. 環境温度制御の考え方	……………			144
3. 環境温度制御の具体例	……………			146
あとがき	……………			147
第2節 機械の環境振動とその制御	……………	<宇田 豊>	…	148
まえがき	……………			148
1. 防振技術	……………			148
1.1 制御理論	……………			148
1.2 防振法	……………			149
2. 要素技術	……………			150
2.1 センサ	……………			150
2.2 アクチュエータ	……………			151
3. 市販されている能動型防振台	……………			151
あとがき	……………			152
第3節 超精密加工環境の計画——クリーンルームの計画	……………	<安永耕二>	…	154
1. 超精密加工環境の実現に向けて	……………			154
2. 超精密加工施設と環境	……………			155
2.1 クリーンルームの概要	……………			155
2.2 超精密加工施設の計画	……………			156
2.3 クリーンルームの計画	……………			157

第3編 超精密機械各論

■第1章 超精密旋盤

第1節 超精密円筒旋盤	……………	<坪井 暉/前田幸雄>	…	167
1. 超精密円筒旋盤の特徴と概要	……………			167
1.1 はじめに	……………			167
1.2 超精密旋盤の備えるべき条件	……………			167
2. 超精密円筒旋盤の構成	……………			169
2.1 はじめに	……………			169
2.2 機械構成要素	……………			169
3. 超精密円筒旋盤の性能と仕様	……………			172
3.1 性能	……………			172
3.2 機械仕様	……………			174
3.3 高能率・高生産性への取組み	……………			174
4. 超精密円筒旋盤の加工例	……………			175
4.1 加工	……………			175
4.2 単結晶ダイヤモンドバイト	……………			176
4.3 円筒加工	……………			176
4.4 加工例	……………			177
第2節 超精密正面旋盤	……………	<田島琢二>	…	179
1. 超精密正面旋盤の特徴と概要	……………			179
1.1 はじめに	……………			179
1.2 超精密加工機の概要	……………			179
2. 超精密正面旋盤の構成	……………			179
2.1 主 軸	……………			179
2.2 移動台(テーブル)の案内方式と その駆動方法	……………			181
2.3 ベッド	……………			182
3. 超精密旋盤の仕様	……………			184
4. 超精密旋削加工例(磁気ディスクの サブストレート切削加工)	……………			184

■第2章 超精密ポリゴンミラー加工機

.....		＜田中克敏＞	185
1.	ポリゴンミラーの用途と特徴	185	3.3
2.	ポリゴンミラーの切削加工	186	4.
2.1	ポリゴンミラーの加工方法	186	.....
2.2	単結晶ダイヤモンドバイトとセッティング	187	4.1
2.3	ポリゴンミラーの材質	188	4.2
3.	ポリゴンミラーの精度評価	188	4.3
3.1	ポリゴンミラーの平面度	188	4.4
3.2	ポリゴンミラーの面粗さ	189	5.
		

■第3章 超精密非球面加工機

.....		＜坪井 暉 / 大阪哲嗣＞	197
1.	超精密非球面加工機の特徴と概要	197	2.3
1.1	はじめに	197	2.4
1.2	軸対称非球面の創成原理と誤差要因	198	3.
1.3	超精密非球面達成の必要条件	199	3.1
2.	超精密非球面加工機の構成	200	3.2
2.1	超精密非球面加工機「AHN10」の概要	201	4.
2.2	機械構成要素	201	4.1
			4.2
		

■第4章 超精密スライシングマシン

.....		＜粕 豊 / 高橋敏昭＞	212
1.	超精密スライシングマシンの概要と特徴	212	3.1
1.1	概要	212	3.2
1.2	特徴	212	3.3
2.	超精密スライシングマシンの構成	215	3.4
2.1	メインベース	215	3.5
2.2	X, Y軸エアスライダ	215	3.6
2.3	Z軸部	217	3.7
2.4	スピンドル部	217	4.
2.5	コントロール部	217	4.1
2.6	ワークテーブルおよびアライメント	218	4.2
3.	超精密スライシングマシンの性能と仕様	218	4.3
		
			221
			221
			221
			222
			223
			226

■第5章 超精密ラッピング・ポリシングマシン

.....	<市川浩一郎>	228
1. 超精密ラッピングマシンの特徴と概要		228
1.1 ラッピングマシン		228
1.2 両面ラッピングマシン		229
2. 超精密ラッピングマシンの構成		229
2.1 定盤冷却装置		230
2.2 定盤自己修正装置		230
2.3 自動定寸装置		232
2.4 太陽、インターナルギヤ独立回転装置		232
3. 超精密ラッピングマシンの性能と仕様<定盤面修正装置付き片面ラッピングマシン>		233
4. 超精密ポリシングマシンの特徴		233
4.1 片面ポリシングマシンの概要		234
4.2 トップリング部		234
4.3 マウント板の自動ローディング装置		235
4.4 自動枚葉式ポリシングマシン		236
4.5 両面ポリシングマシン		237
5. 超精密ラッピング・ポリシング加工例		237
5.1 セラミックス、フェライト		238
5.2 ガラスディスク		238
5.3 シリコンウェーハ(1)		238
5.4 シリコンウェーハ(2)		239
あとがき		239

■第6章 超精密フロートポリシング加工機

.....	<坪井 暉/石樽博司>	240
1. 超精密フロートポリシング加工機の特徴と概要		240
1.1 はじめに		240
1.2 フロートポリシングの加工原理		240
1.3 材料除去機構		241
1.4 フロートポリシングの特徴		242
2. 超精密フロートポリシング加工機の構成		243
2.1 はじめに		243
2.2 ベッド		244
2.3 主 軸		244
2.4 主軸駆動装置		244
2.5 刃物台		244
2.6 ワークホルダ		245
2.7 制御装置		245
2.8 ポンプユニット		245
2.9 クリーンユニット、クリーンルーム		245
2.10 吸塵装置		245
2.11 恒温水槽		245
3. 超精密フロートポリシング加工機の性能と仕様		246
3.1 静圧油軸受		246
3.2 刃物台		246
4. 超精密フロートポリシング加工例		247
4.1 フロートポリシングの前加工		247
4.2 Mn-Zn 単結晶フェライト		247
4.3 Mn-Zn 多結晶フェライト		249
4.4 光学ガラス		250
4.5 サファイア		250
4.6 ステンレス		251
あとがき		251

■第7章 超精密研削盤

第1節 超精密平面研削盤	<梶山啓一>	252
1. 超精密平面研削盤の特徴と概要		252
1.1 半導体用平面研削盤の歴史		252
1.2 超精密平面研削盤の特徴と概要		253
2. 超精密平面研削盤の構成		254
2.1 ローディング部		254
2.2 研削部1		254
2.3 中間ローディング部		255
2.4 研削部2		255
2.5 ウェーハ洗浄部		256
2.6 面粗さ計測部		256

8 目次

2.7 アンローディング	256	4. 超精密平面研削盤の加工例	258
2.8 その他の装置構成部	256	4.1 各種研削ホイールの特徴と加工結果	258
3. 超精密平面研削盤の性能と仕様	256	4.2 超精密平面研削盤による加工結果	261
3.1 チャックテーブル部	256	4.3 超精密平面研削盤による新加工法	263
3.2 砥石軸部	257	あとがき	264
3.3 チャックテーブル部・砥石軸部の構成	257		
3.4 研削シーケンス	257		
第2節 超精密円筒研削盤		<坪井 暉/杉山和久>	265
1. 超精密円筒研削盤の特徴と概要	265	3. 超精密円筒研削盤の性能と仕様	273
1.1 はじめに	265	3.1 はじめに	273
1.2 円筒研削盤の超精密化	265	3.2 送り機構	273
1.3 砥石と研削技術	267	3.3 ベッド	275
1.4 研削盤のNC化	269	3.4 砥石軸	275
2. 超精密円筒研削盤の構成	269	3.5 CNC装置	275
2.1 はじめに	269	4. 超精密円筒研削加工例	277
2.2 システムの狙いと概要	269	4.1 はじめに	277
2.3 システム構成の機械本体および付属装置の特徴	270	4.2 超精密研削加工例	277
2.4 仕様	273	4.3 おわりに	279
第3節 超精密ジグ研削盤		<小田浩一郎>	290
1. 超精密ジグ研削盤の特徴と概要	290	4.3 3次元形状の研削加工例	301
2. 超精密ジグ研削盤の構成	290	4.4 底付き面研削加工例	301
3. 超精密ジグ研削盤の性能と仕様	293	4.5 球面・非球面研削加工例	302
3.1 加工機能	293	4.6 ねじの研削加工例	304
3.2 自動化機能	297	4.7 鏡面研削加工例	304
3.3 機械仕様	299	4.8 自動計測定寸加工例	304
4. 超精密ジグ研削加工例	299	4.9 重研削加工例	304
4.1 遊星回転による丸穴研削加工例	299		
4.2 C軸法線方向制御による輪郭研削加工例	300		
第4節 超精密内面研削盤		<大田真土/小川 勲/木原弘之/永田哲也>	305
1. 超精密内面研削盤の特徴と概要	305	2.5 砥石軸テーブル, 主軸テーブル	311
1.1 まえがき	305	2.6 ドレッシング装置	311
1.2 内面研削加工の原理	305	2.7 制御装置	312
1.3 内面研削加工の特徴	306	2.8 工作物の取付け	312
1.4 内面研削盤に必要な条件	307	2.9 工具の取付け	312
2. 超精密内面研削盤の構成	308	2.10 研削液供給装置	313
2.1 本体構造	308	3. 超精密内面研削盤の性能と仕様	313
2.2 砥石軸スピンドル	308	3.1 機械の運動精度, 回転精度	313
2.3 工作物主軸	310	3.2 機械の静剛性, 動剛性	314
2.4 案内面	311	3.3 機械の熱的特性	315

4. 超精密内面研削加工例	316	4.3 燃料噴射ノズルの内面研削	319
4.1 精密ベアリングの内面研削	316	あとがき	320
4.2 磁気軸受スピンドルによる内面研削	317		

■第8章 ルーリングエンジン

第1節 回折格子の機能と応用	<原田 達男> ...	321	
1. 回折格子による分光	321	3.1 分散 (dispersion)	322
2. 回折格子の分類	322	3.2 分解能 (resolving power)	322
2.1 光の進行方向による分類	322	3.3 回折効率 (diffraction efficiency)	323
2.2 基板形状による分類	322	4. 回折格子の応用	323
2.3 溝形状による分類	322		
3. 回折格子の分光性能	322		
第2節 ルーリングエンジンの構成と性能	<原田 達男> ...	325	
1. 回折格子の精度と分光性能	325	4. 格子溝間隔用送り機構	326
2. 回折格子の製作法	325	5. 格子溝刻線機構	327
3. ルーリングエンジンの刻線方式	326		
第3節 ルーリングエンジンの光波干渉制御	<原田 達男> ...	329	
1. 連続送り方式ルーリングエンジン	329	3. 数値制御ルーリングエンジンによる不等	
2. 間欠送り方式ルーリングエンジン	330	間隔格子溝刻線	331
第4節 回折格子の性能評価	<原田 達男> ...	335	
1. 格子溝配列精度	335	2.3 触針式表面形状測定器による測定	336
1.1 回折光波面の観察	335	2.4 電子顕微鏡による測定	336
1.2 ゴースト強度の測定	335	2.5 走査トンネル顕微鏡による測定	338
2. 格子溝形状精度	336	2.6 軟 X 線領域での分光反射率測定 ...	338
2.1 回折効率の測定	336		
2.2 光学的測定	336		

■第9章 放電加工機

第1節 各種放電加工方式と加工機の特徴	<齋藤 長男> ...	340	
まえがき	340	2.1 基本構成	344
1. 形彫り放電加工機	340	2.2 加工機械とその精度向上	345
1.1 機械本体部	340	2.3 加工速度の高速化	345
1.2 電源および制御部	342	3. ロール表面ダル加工機	346
1.3 加工液循環部	344	4. 小孔あけ放電加工機	346
2. ワイヤ放電加工	344		
第2節 形彫り放電加工機	<岸 雅一> ...	348	
1. 加工法と加工機の概要	348	2.2 加工機本体	350
2. 加工機の構成	348	2.3 制御装置	351
2.1 加工電源	348	2.4 加工液循環装置	355

10 目次

2.5 安全装置	355	3.5 加工面の品質	358
3. 加工条件と加工特性	355	4. 加工例	359
3.1 概 論	355	4.1 金 型	359
3.2 加工面粗さ	356	4.2 部品加工	360
3.3 加工速度と電極消耗	357	4.3 微細加工	361
3.4 加工拡大代	358	4.4 光沢面加工	361
第3節 ワイヤ放電加工機		<小林和彦>	362
1. 加工法と加工機の概要	362	3.1 加工速度	376
1.1 ワイヤ放電加工法の原理	362	3.2 加工精度	378
1.2 ワイヤ放電加工の変遷と特長	363	3.3 加工面粗さおよび変質層	382
2. 加工機の構成	365	4. 加工例	383
2.1 加工機本体	365	4.1 2次元形状加工の金型製作への応用	384
2.2 加工液供給装置	369	4.2 3次元形状加工の金型製作への応用	385
2.3 電源装置	370	4.3 形彫り放電加工用電極の製作	385
2.4 制御装置	371	4.4 試作品および部品加工	385
2.5 自動プログラム装置 (NC テープ作成装置)	374	4.5 微細加工	386
2.6 自動化装置	375		
3. ワイヤ放電加工機の加工性能と特性	376		

■第10章 レーザ加工機

第1節 各種レーザー加工方式と加工機の特徴		<宮崎俊行>	388
まえがき	388	1.3 加工(3):表面改質	390
1. 加工方式	388	1.4 パワー密度から見た加工法	391
1.1 加工(1)	388	2. 加工機	391
1.2 加工(2):レーザーアシスト加工	389		
第2節 YAG レーザ加工機		<石川 憲>	393
1. 加工法と加工機概要	393	3.4 マーキング	407
1.1 レーザ加工法の発展と特徴	393	3.5 はんだ付	409
1.2 YAG レーザ加工機概要	396	3.6 抵抗トリミング	409
2. 加工機の構成	398	3.7 リペアリング	410
<加工機用ビーム伝送加工光学系>	398	3.8 表面改質	410
3. 加工機の性能と仕様	402	3.9 レーザスクライバ	412
3.1 穴あけ加工機	402	3.10 第4高調波(波調:266 nm)光を 利用してのレーザー加工	412
3.2 溶接装置構成と性能	403	4. 加工例	413
3.3 切 断	405		
第3節 エキシマレーザー加工機		<田中正明>	416
まえがき	416	3. 加工機の性能と仕様	423
1. 加工法と加工機の概要	416	3.1 加工面積と加工時間	423
2. 加工機の構成	418	3.2 加工機	423
2.1 レーザ発振器	418	4. 加工条件と加工例	427
2.2 加工ステーション	420	4.1 レーザ波長の影響	427

4.2 加工速度	428	4.4 テーパー角と深穴加工	429
4.3 加工時に発生するすす	428	4.5 その他の加工例	429

■第11章 露光装置

第1節 主な露光方式と装置の特徴	.....	＜飯塚 清＞	434
1. 半導体集積回路の製造と露光装置	434	2.4 プロキシミティ方式	438
2. 半導体集積回路の発達と光露光方式の変遷	435	2.5 走査型一括反射投影露光方式	440
2.1 はじめに	435	2.6 逐次走査型縮小投影露光方式(ステッパ)	442
2.2 密着露光方式	436	2.7 露光波長の変遷と今後の予測	443
2.3 一括投影露光方式	437		
第2節 紫外・遠紫外露光装置	.....	＜飯塚 清＞	445
1. ステッパによる加工と装置の概要	445	2.6 高解像化技術	458
1.1 はじめに	445	3. ステッパの仕様と性能および将来予測	460
1.2 ステッパの概要	445	3.1 ステッパの仕様と性能	460
1.3 ステッパの動作シーケンス	448	3.2 ステッパの性能評価	462
1.4 おわりに	448	3.3 装置間マッチング性能	462
2. ステッパの要素技術およびその開発動向	449	3.4 ステッパの将来予測	464
2.1 露光光源	449	4. 半導体ICの加工プロセスとステッパの役割	465
2.2 投影レンズ	450	4.1 IC加工の概要	465
2.3 ステージ	452	4.2 ウェーハプロセス	465
2.4 アライメント	453	4.3 フォトレジスト	467
2.5 オートフォーカス, オートレベリング	458		
第3節 電子ビーム描画装置	.....	＜竹村 等＞	469
1. 電子ビーム描画装置の概要	469	3. 電子ビーム描画装置の性能と仕様	472
2. 電子ビーム描画装置の構成	469	3.1 JBX-7000MVの特徴と仕様	472
2.1 電子ビームコラム部	470	3.2 JBX-6000FSの特徴と仕様	472
2.2 ステージと材料制御部	470	4. 加工例	472
2.3 データ転送部	471	4.1 JBX-7000MVの描画例	472
2.4 ソフトウェア	471	4.2 JBX-6000FSの描画例	473
第4節 イオンビーム露光装置	.....	＜原市 聡＞	475
1. 加工法と加工装置の概要	475	2.5 2次粒子検出器	482
1.1 加工法	475	3. 加工装置の性能と仕様	483
1.2 加工装置の概要	476	3.1 イオン集束性能	483
2. 加工装置の構成	477	3.2 パターン描画位置精度	488
2.1 イオン源	477	4. 加工例	489
2.2 集束レンズ	479	4.1 有機レジスト	490
2.3 質量分離器	480	4.2 無機レジスト	493
2.4 偏向器	481		

第5節 X線露光装置, SOR 露光装置	<宇根篤暢> ...	499
1. 露光法と露光装置の概要		499
1.1 露光法とその特徴		499
1.2 露光装置の種類と特徴		501
2. 露光装置の構成		502
2.1 装置構成の概要		502
2.2 各装置構成部の詳細		503
3. X線露光装置の性能と仕様		522
3.1 発散光源型 X線露光装置		522
3.2 SOR 光源型 X線露光装置		524
4. 露光例		525

■第12章 エッチング装置

第1節 エッチング技術と装置の特徴	<牧野英司> ...	532
1. エッチング概論		532
2. マスクプロセス		532
2.1 フォトリソグラフィ		532
2.2 ウエットエッチング		533
2.3 ドライエッチング		535
3. マスクレスプロセス		537
3.1 レーザエッチング		537
3.2 プラズマ CVM (Plasma Chemical Vaporizing Machining)		537
3.3 STM 応用エッチング		537
第2節 ウエットエッチング装置	<木村良和> ...	539
1. 加工法と加工装置の概要		539
1.1 はじめに		539
1.2 ウエット処理の目的と処理の概要		539
1.3 ウエット処理装置の概要		540
2. 加工装置の構成		541
2.1 ウエットステーション		541
2.2 スピンプロセッサ		543
3. 加工装置の仕様と性能		544
3.1 ウエットステーション		544
3.2 スピンプロセッサ		548
4. 加工 (洗浄) 例		550
4.1 アルミニウム膜のエッチング		550
4.2 金属汚染除去		551
第3節 ドライエッチング装置	<松尾誠太郎> ...	554
まえがき		554
1. 加工法の概要		554
2. イオンエッチング		555
2.1 原理および装置構成		555
2.2 スパッタリング現象		556
2.3 パターン形成特性		556
2.4 マスク材料		557
2.5 その他の要因		558
3. プラズマエッチング		558
3.1 原理および装置構成		558
3.2 パターン形成特性		559
3.3 選択エッチング特性		560
3.4 プラズマアッシング		560
4. 反応性イオンエッチング		560
4.1 原理および装置構成		560
4.2 Si 上の SiO ₂ 選択エッチング		561
4.3 パターン形成特性		562
4.4 プラズマエッチングとの関係 (ガス圧の効果)		562
4.5 アンダカットを伴わない Si エッチング		563
4.6 Al のエッチング		564
5. ECR イオン流エッチング		564
5.1 装置構成		565
5.2 発散磁界によるイオン引出し		565
5.3 エッチング特性		566
5.4 エッチング制御性の向上		568

■第13章 ドーピング装置

第1節 各種ドーピング方式と装置の特徴	<藤井定美> ...	570
まえがき		570
1. ドーピングの目的		570
2. 半導体プロセスにおけるドーピングの位置		570

3. ドーピングの種類	570	3.3 レーザドーピング法	572
3.1 熱拡散法	570	3.4 同時蒸着法	573
3.2 イオン注入法	571	3.5 高エネルギー電子線	573
第2節 熱拡散方式とその装置			＜藤井定美＞ 574
まえがき	574	5. 熱拡散装置の仕様と傾向	579
1. 熱拡散方式の原理	574	6. 金属工業での利用	579
2. 熱拡散装置の種類と特色	575	6.1 浸炭	580
3. 熱拡散装置	577	6.2 窒化	580
4. 温度制御	578	6.3 浸透めっき	581
第3節 イオン注入装置			＜桜田勇蔵＞ 582
1. 装置の概要	582	2.6 制御システム	585
2. 装置の構成	582	3. 装置の性能	585
2.1 イオン源	582	3.1 エネルギーおよびビーム電流	585
2.2 分析マグネット	583	3.2 注入均一性	586
2.3 後段加速系	584	3.3 ビーム入射角	586
2.4 ビームライン系	584	3.4 ウェーハ処理能力	586
2.5 エンドステーション系	585	3.5 コンタミネーション	587
第4節 レーザドーピング装置			＜松本 智＞ 588
1. 加工法と加工装置の概要	588	3.1 ドーピング実験	593
1.1 はじめに	588	3.2 ドーピング特性	594
1.2 エキシマレーザドーピングの特徴	588	4. 加工例	597
1.3 ドーピングの機構とモデリング	590	4.1 ダイオード・太陽電池作製	597
2. 加工装置の構成	591	4.2 オーミック接触形成	598
2.1 装置の概略	591	4.3 MOSトランジスタ・バイポーラ	598
2.2 レーザ光源	592	トランジスタへの適用	598
2.3 光学系	592	4.4 レーザエピタキシー	599
2.4 チャンバとガス供給・排気系	593	4.5 薄膜トランジスタ作製	600
2.5 制御系	593	4.6 レーザパントグラフィ	600
3. 加工装置の性能と仕様	593	4.7 光導波路作製	601
■第14章 成膜装置			
第1節 各種成膜方式と装置の特徴			＜細川直吉＞ 604
1. 成膜技術の応用分野：厚膜と薄膜	604	6. 特殊な成膜装置	607
2. 基板：膜の存在根拠	604	6.1 MBE装置	607
3. 成膜方式の分類	605	6.2 ICB装置	607
4. PVD (物理的気相成長法：Physical Vapor Deposition)	605	6.3 イオンビームデポジション装置	607
5. CVD (化学的気相成長法：Chemical Vapor Deposition)	606	6.4 レーザデポジション装置	608

第2節 プラズマアシスト CVD 装置	<関口 敦> ...	609
1. 加工法と加工装置の概要		609
1.1 直流放電型		609
1.2 交流放電型		610
1.3 高周波放電型		610
1.4 マイクロ波放電型		612
2. 加工装置の構成		613
2.1 原料ガス供給系		613
2.2 プラズマ発生用電源系		614
2.3 堆積系		615
2.4 圧力制御系		615
2.5 排気系		615
3. 加工装置の性能と仕様		616
3.1 高周波容量結合型プラズマアシスト CVD 装置		616
3.2 ECR 放電型プラズマアシスト CVD 装置		620
4. 加工例		622
4.1 アモルファスシリコン膜		622
4.2 窒化シリコン膜		622
4.3 酸化シリコン膜		623
4.4 ダイヤモンド膜		623
4.5 有機物膜		623
第3節 フォトアシスト CVD 装置	<英 貢> ...	625
1. 加工法と加工装置の概略		625
1.1 加工法の原理		625
1.2 加工装置の概略		627
2. 加工装置の構成		629
2.1 光源		629
2.2 光学窓		633
3. 性能と仕様		634
4. 加工例		637
第4節 酸化方式とその装置	<清水博文> ...	644
まえがき		644
1. 酸化法と酸化装置の概要		644
1.1 シリコンの酸化		644
1.2 酸化装置の概要		645
2. 酸化装置の構成		646
2.1 常圧縦型酸化		646
2.2 高圧酸化		647
2.3 プラズマ酸化ほか		648
2.4 ランプアニール		649
3. 酸化装置の性能と仕様		649
4. 酸化プロセスにおける課題		650
4.1 酸化装置内のパーティクル密度 ...		650
4.2 熱応力転位		650
4.3 ウェーハ大口径化		652
第5節 蒸着装置	<山守哲也> ...	654
1. 真空蒸着法と蒸着装置の概要		654
1.1 真空蒸着法とは		654
1.2 蒸着速度と蒸発量		654
1.3 蒸発分子の蒸発過程		654
1.4 基板の加熱、冷却		655
1.5 膜厚分布と蒸着効率		655
1.6 蒸発に必要な熱量と基板温度 ...		656
2. 蒸着装置の構成		657
2.1 装置の要素		657
2.2 真空槽とその構成材料		657
2.3 真空排気系と圧力測定		659
2.4 基板の回転機構および搬送機構 ...		662
2.5 蒸発源および蒸発材料供給		663
2.6 膜厚制御		664
3. 蒸着装置の性能と仕様		665
3.1 バッチ式汎用蒸着装置		665
3.2 バッチ式光学用蒸着装置		665
3.3 感光ドラム用セレン蒸着装置 ...		666
3.4 超高真空多機能蒸着装置		667
3.5 巻取り式真空蒸着装置		667
4. 蒸着加工例		669
4.1 半導体用電極膜加工例		669
4.2 光学膜の加工例		670
4.3 超高真空蒸着膜の観察		671
4.4 巻取り式蒸着の加工例		672
第6節 スパッタ装置	<細川直吉> ...	676
まえがき		676
1. 加工法と加工装置の概要		676
1.1 典型的な RF2 極スパッタ装置の構成		676

1.2 典型的な成膜プロセス	678	3.1 真空性能	690
2. 加工装置の構成	679	3.2 成膜条件性能	691
2.1 装置構成の分類	679	3.3 自動化機能・その他	692
2.2 カソードターゲットの形状と構成	685	4. 加工例	692
2.3 真空系の構成	689	4.1 ICメタライゼーション	692
3. 加工装置の性能と仕様	690	4.2 LCD電極形成	694
		4.3 磁気記録応用	695
第7節 イオンプレーティング装置			
1. イオンプレーティング法と装置の関連性	701	2.4 プラズマ発生機構	703
1.1 基板の前処理	701	2.5 イオンプレーティング装置	703
1.2 操作ガス圧	701	3. 膜加工例とデバイス	703
1.3 プラズマ制御	701	3.1 光学関係	704
2. イオンプレーティング装置の構成と性能	702	3.2 ZnO, AlN膜	704
2.1 真空容器と排気系	702	3.3 機械工具関係	704
2.2 ガス導入機構	702	4. イオンプレーティングによるプラズマ 重合膜	705
2.3 蒸発源	703	あとがき	706

第4編 超精密加工用工具

■第1章 超精密切削工具

第1節 概要			
1. 超精密ダイヤモンド切削工具	711	3. 超精密切削工具の製法	714
2. ダイヤモンドの種類と特性	712	3.1 ダイヤモンドの選別	714
2.1 ダイヤモンドの種類	712	3.2 結晶方位	714
2.2 単結晶ダイヤモンドの特徴	712	3.3 超精密切削工具の研磨	715
第2節 用途と分類			
1. 超精密切削工具と刃形	717	2.2 円弧刃による平面・円筒面加工	718
2. 円弧刃の用途と特徴	717	3. 直線刃の用途と特徴	718
2.1 円弧刃による非球面・球面加工	717	4. 三角刃タイプ	719
第3節 性能			
1. 超精密ダイヤモンド切削工具の形状精度	720	2.2 円弧刃の輪郭度(真円度)	720
2. 切れ刃の形状精度	720	3. 切れ刃稜の形状精度(刃先丸み)	720
2.1 切れ刃の真直度	720	3.1 ならし加工	722
		3.2 刃先稜丸み	722
第4節 利用技術			
1. 鏡面切削の実際	724	1.2 円弧刃による切削	724
1.1 刃物角(逃げ角, すくい角)の設定	724	1.3 直線刃による切削	724
		2. 超精密切削加工例	725

16 目次

2.1 CNC 2 軸旋盤による非球面・球面 レンズ金型加工	725	2.2 コピードラムの切削	726
3. 今後の超精密切削ダイヤモンド工具 ..	726		

■第2章 超精密研削砥石

第1節 概 要	<佐藤充宏> ..	728	
まえがき	728	3. 粒 度	731
1. 研削砥石	728	4. 結 合 剤	733
2. 砥 粒	728		
第2節 用途と分類	<佐藤充宏> ..	736	
まえがき	736	4. 多気孔砥石	738
1. 高剛性砥石	737	5. 薄刃砥石	738
2. 低弾性率砥石	737	6. 固定砥粒化砥石	738
3. 微粒砥石	738		
第3節 性 能	<浅野邦男> ..	740	
まえがき	740	2. CBN ホイールによる超精密研削	741
1. 一般砥石による超精密研削	740	3. ダイヤモンドホイールによる超精密研削	743
1.1 ハニカム構造のビトリファイド砥石 による鏡面研削	740	4. 固定砥粒化砥石による超精密研磨	744
1.2 微粒レジノイド砥石による圧延用 ロールの鏡面研削	741		
第4節 ツルーイング, ドレッシング	<佐藤充宏> ..	746	
まえがき	746	2. 超砥粒砥石のツルーイング, ドレッシン グ	748
1. 一般砥石のツルーイング, ドレッシング	747	2.1 ツルーイング法	749
1.1 ダイヤモンドの大きさ	748	2.2 ドレッシング法	749
1.2 ドレッシング条件	748	あとがき	752
第5節 利用技術	<浅野邦男> ..	753	
まえがき	753	3. 高圧洗浄装置	755
1. 自動バランス修正装置	753	4. 超精密ろ過装置	757
2. AE センサ付きドレッサ装置	753		

■第3章 超精密ラッピング, ポリシング資材

第1節 概 要	<滝澤義三郎> ..	760	
まえがき	760	1.1 砥 粒	761
1. ラッピング, ポリシングに必要な資材	761	1.2 加 工 液	762
第2節 用途と分類	<滝澤義三郎> ..	763	
1. ラッピング用資材の用途	763	2.1 ラッピング用砥粒の製法	763
2. ラッピング用砥粒の分類	763	2.2 ラッピング用砥粒の性状	764

3. ラッピング用工具 (ラップ定盤)	765	5.3 コロイダルシリカ (シリカゾル) ...	769
4. ポリシング用資材の用途	767	5.4 微粒子アルミナ	770
5. ポリシング用砥粒の分類	767	5.5 酸化セリウム	770
5.1 ダイヤモンド	767	5.6 酸化ジルコニウム	770
5.2 微粒子ケイ酸 (シリカゲル)	767	6. ポリシング用工具 (ポリシャ)	771
第3節 性能		＜滝澤義三郎＞ ..	773
1. 各種ラッピング資材の性能	773	2.1 砥粒種および粒径	774
1.1 ラッピング砥粒の性能	773	2.2 研磨液	774
1.2 加工液 (ラップ液) の性能	773	2.3 ポリシャ	775
2. 各種ポリシング資材の性能	773		
第4節 利用技術		＜滝澤義三郎＞ ..	776
まえがき	776	2. Ni-P 磁気ディスク基板のポリシング	777
1. シリコンウェーハのポリシング	776		

第5編 超精密切削加工の実際

■第1章 高純度銅系材料の超精密切削加工

第1節 概要		＜上田勝宣＞ ..	781
まえがき	781	2. 表面性状	781
1. 加工性	781	3. 工具摩耗	783
第2節 レーザミラー		＜上田勝宣＞ ..	787
1. レーザミラーの用途・種類および機能	787	2. 要求される特性	787
		3. 平面ミラーおよび球面ミラー	788
第3節 集光ミラー		＜上田勝宣＞ ..	793
まえがき	793	2.2 凸面形セグメントミラー	796
1. 放物面ミラー	793	2.3 セグメントミラーによる光学系の特性と表面熱処理実験結果	797
1.1 放物面ミラーの加工	793	3. 楕円筒鏡	797
1.2 放物面ミラーを用いたレーザ加工実験	794	3.1 加工方法	798
2. セグメントミラー	795	3.2 加工実験	799
2.1 表面熱処理光学系	795		

■第2章 高純度アルミニウム材料の超精密切削加工

第1節 概要		＜本西英＞ ..	801
まえがき	801	1.4 その他	802
1. 用途と必要性	801	2. 超精密切削用アルミニウムの要件	802
1.1 磁気ディスクサブストレート	801	3. 精密加工用アルミニウム材料の技術動向	803
1.2 ポリゴンミラー (多面鏡)	801		
1.3 複写機用感光ドラム	801		

18 目 次

3.1 精密加工用アルミニウム材料の種類	803	3.3 表面粗さに及ぼす化学成分の影響	805
3.2 アルミニウム材料の種類と表面粗さ	804	3.4 表面粗さに及ぼす熱処理の影響 ...	805
第2節 磁気ディスク基板 .....		..... <樹田正美> ...	806
まえがき	806	3. 工具摩耗	811
1. 実験の方法および条件	806	3.1 工具設定角と切削面粗さの推移 ...	811
1.1 工具設定角	807	3.2 バニシング機構	812
1.2 切削条件	807	3.3 摩耗工具による急速後退切削実験	813
2. 工具設定角の切削面粗さへの影響	807	3.4 ダイヤモンド工具の結晶方位	814
2.1 工具設定角の影響	807	あとがき	814
2.2 工具急速後退実験	807		
2.3 むしれ発生原因の考察	809		
第3節 レーザプリンタのポリゴンミラー .....		..... <大野木敬> ...	816
まえがき	816	4.4 切削送りテーブル	819
1. ポリゴンミラーの形状と要求精度	816	4.5 主軸スピンドルとカッタヘッド ...	819
2. 材 料	816	4.6 分割盤とワークジグ	820
3. ダイヤモンドバイト	817	4.7 切削油供給方法と集塵装置	821
4. 加工機械	818	4.8 機械精度	821
4.1 概 要	818	5. 加工条件	821
4.2 基礎, 環境	818	6. 加工例	821
4.3 ベッド	819	あとがき	822
第4節 複写用感光ドラム .....		..... <石川俊夫> ...	824
まえがき	824	3.3 バイト形状と加工精度	826
1. カールソンプロセス	824	3.4 ワーク保持について	826
2. 感光ドラムの加工精度	825	4. 加工の実際	826
3. ドラムの超精密加工について	825	あとがき	827
3.1 加工機概要	825		
3.2 ダイヤモンドバイトによる切削加工	826		
第5節 VTR用シリンダ .....		..... <森川敏郎> ...	828
1. V T R	828	3. 加工の実際	832
<家庭用 VTR の規格>	828	3.1 上シリンダ	832
2. シリンダ材質	828	3.2 下シリンダ	832
2.1 鋳造品と鍛造品	828	3.3 組加工	834
2.2 加工上の問題	831	4. 今後の展開	834

■第3章 プラスチックの超精密切削加工

第1節 概 要 .....		..... <武野仲勝> ...	836
まえがき	836	1. コンタクトレンズの材料とレンズとしての ニーズ	836

2. 超精密加工の機材と加工工程	839	4. 切削加工精度	845
3. 切削特性	841	あとがき	849
第2節 コンタクトレンズ		＜武野仲勝＞	850
1. 概要	850	4.3 コンタクトレンズ加工機の問題点	859
2. コンタクトレンズのデザイン	850	4.4 コンタクトレンズの自動生産ライン	860
3. コンタクトレンズの加工システム	853	5. 切削加工の工作精度	860
3.1 切削加工	853	6. コンタクトレンズのCAD・CAM加工	863
3.2 特殊切削加工	856	あとがき	864
3.3 モールド加工	857		
4. 加工機械	857		
4.1 コンタクトレンズ加工旋盤	857		
4.2 モールド金型加工機械	859		
■第4章 高純度結晶および非結晶材料の超精密切削加工			
第1節 概要		＜河西敏雄＞	865
1. 初期の超精密切削加工	865	2. 超精密切削加工の展開	865
第2節 ニッケル合金		＜河西敏雄/小林 昭＞	868
まえがき	868	5. ダイヤモンド工具の刃先の損傷	871
1. 無電解ニッケルめっき膜の性質	868	6. ステンレス合金の超精密切削加工	872
2. 切削装置	869	6.1 極低温冷却切削	872
3. 超精密切削面の状態と切りくず	869	6.2 超音波振動切削	872
4. 各種切削条件における表面粗さ	870	あとがき	872
第3節 モリブデン		＜上田勝宣＞	874
まえがき	874	3.1 加工実験	876
1. レーザミラーとしての特性	874	3.2 工具軌跡の最適化	876
2. 工具摩耗実験	874	3.3 最適化による放物面ミラーの加工	877
2.1 実験方法	874	あとがき	877
2.2 実験結果	875		
3. 放物面ミラーの加工	876		
第4節 ゲルマニウム		＜P. R. Hall / J. K. Myler＞	879
まえがき	879	4. 工具形状	882
1. ダイヤモンド旋盤によるゲルマニウムの 切削加工	879	5. 工具位置と工具摩耗	883
2. 切削諸元	880	6. 機上での精度測定	885
3. 振動と工作物チャッキング	881	7. 得られた加工面性状	885
		あとがき	889
第5節 K D P		＜上田勝宣＞	891
まえがき	891	2. ダイヤモンド切削	892
1. 材料の性質	891	あとがき	894

第6節 ニオブ酸リチウム	<原 成一/小寺 直/中筋智明> ...	895
1. ニオブ酸リチウム (LiNbO ₃) 単結晶の特性	3.2 へき開面と切削方向の交差角	897
2. 切削方法	3.3 送り量の表面粗さへの影響	897
2.1 切削機械	3.4 切込み量の表面粗さへの影響	898
2.2 切削条件	4. 加工メカニズムの推察	898
3. 切削加工の特徴	4.1 引張破壊	898
3.1 Yカット面(0 1 1 0)の切削	4.2 せん断破壊	899
	あとがき	899
第7節 その他(ガラス, 鉄鋼)	<森脇俊道> ...	901
まえがき	1.2 ガラスの超精密切削における問題点	901
1. 鉄鋼, ガラスの超精密切削における問題点	2. 超音波振動切削	901
1.1 鉄鋼材料の超精密切削における問題点	3. 超精密超音波振動切削の事例	902
	あとがき	904

第6編 超精密研削加工の実際

第1章 光学材料の超精密研削加工

第1節 概 要	<橋本 洋> ...	909
まえがき	2.3 ツルージングとドレッシングの効果	911
1. 実験装置と実験条件	2.4 ポリシング加工との比較	911
1.1 実験装置	2.5 エッチング深さの測定による SMG 加工面の評価	912
1.2 実験条件	2.6 エッチングレートによる測定	912
2. 実験結果と考察	2.7 微小硬さ計による測定	913
2.1 研削表面および研削抵抗	あとがき	913
2.2 SMG 加工限界値 (Shear-Mode Grinding force criterion)		
第2節 光学ガラス	<伊東 博> ...	915
まえがき	2.2 球面レンズの加工事例	918
1. 平面ミラーの加工	3. 非球面レンズの加工	918
1.1 平面度に及ぼす要因の検討	3.1 超精密非球面加工・測定機	918
1.2 加工結果	3.2 非球面レンズの加工事例	919
2. 球面レンズの加工	あとがき	921
2.1 延性モード研削加工の検討		
第3節 SiC, Si₃N₄	<橋本政弘> ...	923
まえがき	4. 超精密研削加工の役割 —脆性材料の塑性流動除去加工の実現へ	927
1. 光学部品の超精密研削加工精度	5. 超精密研削加工精度の追求へ	927
2. 超精密研削のための脆性材料の特性と研削加工特性	あとがき	928
3. 超精密部品材料の選択		

第4節 ニオブ酸リチウム	＜三橋眞成/神田虎彦＞	929
1. ニオブ酸リチウム基板の超精密研削の 必要性		929
2. ニオブ酸リチウムの材料特性		929
3. ニオブ酸リチウム基板の研削切断加工		929

■第2章 電子材料の超精密研削加工

第1節 概要	＜河西敏雄＞	933
1. 研削加工の超精密化		933
2. 超精密研削技術の展開		933
第2節 フェライト	＜高尾佳宏/曾根昭夫＞	935
まえがき		935
1. 磁気ヘッド		935
2. 磁気ヘッド材料		935
3. 磁気ヘッド製造工程		936
4. 磁気ヘッド加工用精密加工機械		938
4.1 CNC平面研削盤マイクログラインダ		938
4.2 精密横形ロータリ平面研削盤		939
あとがき		941
第3節 シリコンウェーハ	＜松井 敏＞	944
まえがき		944
1. ウェーハ自転研削の原理と特徴		944
2. ウェーハ自転研削による研削特性		944
2.1 表面粗さと仕上面品質		944
2.2 平面度と平行度		946
2.3 反り		947
2.4 チッピングと割れ		947
あとがき		948

■第3章 高硬度材料の超精密研削加工

第1節 概要	＜難波義治＞	949
まえがき		949
1. 研削砥石		949
2. 研削盤の特性		949
3. 脆性研削と延性研削		949
4. 延性研削とダイヤモンド砥粒		951
5. 均質な材料と不均質な材料		951
あとがき		952
第2節 金型用鋼	＜山口政男＞	953
まえがき		953
1. 超精密研削加工に要求されている加工精 度・加工品位		953
2. 金型加工用の超精密研削を達成するた めの砥石や研削盤の関連性と働き		956
2.1 研削に関連する要素		956
2.2 研削のトータルコンディショニング		956
3. 微小切込み研削（ダクティルモード研削） と砥粒切込み深さ		956
＜砥石の働き（砥粒1個の働き）＞		956
4. 機械の振動による作用（影響）		957
4.1 研削盤の振動（主として研削砥石軸）		957
4.2 主軸ヘッドの振動成分の主な原因と その振幅		957
4.3 振動除去技術		958
4.4 インプロセス振動振幅モニタ		958
5. 機械から加工精度に及ぼす影響		959
5.1 主軸の剛性		959
5.2 主軸やコラムの熱変位		961
5.3 精度を作り出す機械の基準		961
6. 加工技術による精度の確保		963
6.1 研削条件		963
6.2 取付具・基準出し具		964
6.3 加工品位や精度を向上させる技術		967
7. 研削油剤		969

22 目次

〈研削液の供給方法と注意事項〉	969	8.3 砥石の性質から出る影響	971
8. 砥石の影響	970	8.4 砥石の目つぶれ・目詰まり	971
8.1 SiC 砥粒の特徴	970	8.5 ドレッシング	971
8.2 砥石の役割	970	あとがき	972
第3節 超硬合金		〈丹後谷昭〉	973
まえがき	973	2.6 ツルーイングとドレッシング	975
1. 超硬合金の種類	973	3. 超硬材の研削加工	975
2. ダイヤモンド砥石の選択と使い方	974	3.1 研削条件	975
2.1 砥粒	974	3.2 粒度と面粗さ	976
2.2 粒度	974	3.3 研削盤と研削加工の特徴	976
2.3 結合度	975	3.4 その他の精密加工の条件	977
2.4 集中度	975	あとがき	977
2.5 結合材	975		
第4節 セラミックス		〈由井明紀〉	978
まえがき	978	3. セラミックスのチッピング	982
1. セラミックスの鏡面研削加工	979	4. セラミックスの切り残し量	983
2. 研削加工条件と曲げ破壊強度	980	あとがき	985
第5節 ダイヤモンド		〈西口 隆〉	987
まえがき	987	3. 研削能率の測定	989
1. 角錐研削装置	987	4. 研削能率に対する考察	990
2. 角錐研削結果	988	5. 微細成形研磨加工	992

第7編 超精密研磨加工の実際

■第1章 光学材料の超精密研磨加工

第1節 概要		〈河西敏雄〉	995
1. 研磨加工の特殊性	995		
2. 超精密研磨加工を必要とする光学部品	995		
第2節 光学ガラス		〈小原悦男〉	998
【1】 レンズ・プリズム			
まえがき	998	3. スモールツール研磨法	1000
1. 光学素子表面に求められる精度	998	3.1 研磨機	1000
〈精度項目〉	998	3.2 加工事例	1001
2. 全面皿研磨法	998	4. 材料特性	1001
2.1 オスカー型研磨機	998	4.1 熱膨張係数	1001
2.2 高精度ラップ盤	999	4.2 軽量化	1002
2.3 加工事例	999	あとがき	1004

【2】 エキシマステップ用非球面投影レンズ	… <山下一博/笹子 勝/野村 登/新宮克喜/持田省郎/上田修治> …	1005
まえがき	……………	1005
1. ArF エキシマ用非球面投影レンズ	……………	1005
2. 非球面投影レンズ加工	……………	1006
2.1 非球面レンズ加工プロセス	……………	1006
【3】 ファイバ	…………… <斎藤忠男> …	1011
まえがき	……………	1011
1. 光コネクタ端面の高精度研磨	……………	1011
1.1 光コネクタ端面研磨の課題	……………	1011
1.2 研磨装置	……………	1012
1.3 ポリシャ材料	……………	1012
1.4 研磨粒子	……………	1012
2. 光ファイバ端部の形状加工	……………	1013
2.1 切断加工	……………	1014
2.2 先球ファイバの加工	……………	1014
2.3 斜め研磨	……………	1016
あとがき	……………	1016
【4】 基板	…………… <上村 宏> …	1017
まえがき	……………	1017
1. 平面ディスプレイの分類	……………	1017
2. ガラス基板の種類と製法	……………	1017
3. ガラス基板の加工工程	……………	1018
4. LCD用ガラス基板の研磨加工	……………	1019
5. 表面性状の評価方法	……………	1022
6. ガラス基板に要求される今後の課題	……………	1022
第3節 光学結晶		
【1】 硬質結晶 (LN, LT, ルチル, 水晶, YAG, アルミナ)	… <橋本秀夫> …	1024
まえがき	……………	1024
1. 光導波路用ウェーハの研磨	……………	1024
<加工方法>	……………	1025
2. Qスイッチ用 LiNbO ₃ の研磨	……………	1026
<加工手順>	……………	1026
3. 光偏向器用 LiNbO ₃ の研磨	……………	1028
4. 固体レーザー用 Y ₃ Al ₅ O ₁₂	……………	1029
4.1 ロッド状 Y ₃ Al ₅ O ₁₂ の研磨装置	……………	1029
4.2 研磨手順	……………	1029
あとがき	……………	1031
【2】 軟質結晶	…………… <河西敏雄> …	1032
まえがき	……………	1032
1. 軟質結晶加工における基本的事項	……………	1032
2. 加工事例	……………	1032
2.1 TeO ₂ 単結晶の超精密研磨加工	……………	1032
2.2 CaF ₂ 単結晶の超精密研磨加工	……………	1034
2.3 KDP (リン酸二水素カリウム) 単結晶の超精密研磨加工	……………	1036
あとがき	……………	1036
第4節 金属反射鏡		
…………… <河西敏雄> …		1038
まえがき	……………	1038
1. 加工工程	……………	1038
2. ラッピング	……………	1038
3. 砥石研磨 (砥石ラッピング)	……………	1039
4. ポリシング	……………	1039
5. 加工事例	……………	1040
あとがき	……………	1041
第5節 コンタクトレンズ用プラスチック		
…………… <武野仲勝> …		1042
1. 概要	……………	1042
<ポリシングの実験研究における基本的把握事項>	……………	1044
2. レンズ製作上の経緯	……………	1045
2.1 レンズのデザイン	……………	1045
2.2 切削精度の影響と改善	……………	1045
3. ポリシング加工の工程	……………	1048
4. ポリシング精度	……………	1049
4.1 前加工との関係	……………	1049
4.2 ポリシング精度	……………	1051
5. ポリシングパウダ	……………	1054
あとがき	……………	1056

■第2章 半導体材料の超精密研磨加工

第1節 概 要	.....	<土肥俊郎>	... 1058
1. 半導体材料の発展経緯	.....		1058
2. 半導体材料とそのポリシング技術の経緯	.....		1058
第2節 シリコン (Si)	.....	<土肥俊郎>	... 1061
まえがき	.....		1061
1. Si ウェーハの超精密ポリシング (研磨) 加工	.....		1062
2. Si ウェーハの超精密ポリシング技術の一応用例	.....		1063
第3節 化合物半導体	.....	<土肥俊郎>	... 1067
まえがき	.....		1067
1. GaAs 結晶	.....		1068
1.1 NaBrO ₂ による GaAs 結晶の基本的加工特性	.....		1068
1.2 加工メカニズム	.....		1069
2. CdTe 結晶	.....		1070
2.1 新しい加工剤によるポリシング特性	.....		1070
2.2 加工メカニズム	.....		1072

■第3章 電子材料の超精密研磨加工

第1節 概 要	.....	<落合雄二>	... 1073
1. 超精密研磨加工の必要性	.....		1073
2. 低ひずみ鏡面研磨加工	.....		1076
2.1 超精密加工法	.....		1076
2.2 電解バフ仕上げ法	.....		1076
2.3 メカノケミカルポリシング法	.....		1076
2.4 メカノエレクトロケミカルポリシング	.....		1077
2.5 乾式メカノケミカルポリシング	.....		1077
3. 電子部品材料における超精密研磨加工の特異性	.....		1077
第2節 磁気ヘッド	.....	<落合雄二>	... 1079
まえがき	.....		1079
1. メカノエレクトロケミカルポリシング	.....		1079
1.1 局部電池形成による電気化学作用	.....		1079
1.2 外部電圧印加による電気化学作用	.....		1081
1.3 MEC ポリシングの効果	.....		1082
2. 異種材料間の研磨特性	.....		1082
2.1 砥粒径の影響	.....		1083
2.2 ポリシング距離の影響	.....		1084
2.3 加工圧力の影響	.....		1084
2.4 定盤材質の影響	.....		1085
あとがき	.....		1085
第3節 基 板	.....	<安永暢男>	... 1087
まえがき	.....		1087
1. 切断および研削	.....		1087
2. ラッピング	.....		1087
3. メカニカルポリシング	.....		1088
4. メカノケミカルポリシング	.....		1088
あとがき	.....		1090
第4節 振 動 子	.....	<判治元康>	... 1092
1. 概 要	.....		1092
2. 機械研磨	.....		1092
3. 研磨加工に代わる加工技術	.....		1094

第5節 磁気ディスク

【1】 磁気ディスク用アルミニウム合金 / Ni-P 基板	……………	<三橋真成>	…	1096
1. 磁気ディスク基板の超精密研磨の必要性	……………			1096
2. アルミニウム合金 / Ni-P 基板の材料特性	……………			1096
3. アルミニウム合金 / Ni-P 基板の磁気ディスク基板の研磨加工	……………			1096
3.1 基板うねり部の修正・除去	……………			1096
3.2 基板表面粗さの向上	……………			1097
3.3 基板の研磨方式	……………			1098
3.4 基板面の微小突起除去	……………			1098
3.5 CSS方式装置対応のテクスチャ加工	……………			1098
【2】 磁気ディスク用ガラス基板	……………	<江田伸二>	…	1101
まえがき	……………			1101
1. 高記録密度用ディスク媒体	……………			1101
2. 基板に要求される特性	……………			1102
3. ガラス基板の加工工程	……………			1102
4. 今後の展望	……………			1104

■第4章 高硬度材料の超精密研磨加工

第1節 概要	……………	<堀尾健一郎>	…	1105
まえがき	……………			1105
1. 遊離砥粒による研磨加工の歴史	……………			1105
2. ブロックゲージと定盤	……………			1105
3. ラッピングとポリシング	……………			1105
4. 遊離砥粒研磨加工の特徴	……………			1106
5. 工具および砥粒	……………			1106
6. 今後の動向：固定砥粒による研磨加工	……………			1106

第2節 ブロックゲージ

【1】 金属	……………	<風間正也>	…	1107
まえがき	……………			1107
1. 精度および品質	……………			1107
1.1 寸法、平面度および平行度	……………			1107
1.2 寸法の安定性	……………			1107
1.3 密着	……………			1108
1.4 硬さ	……………			1109
1.5 熱膨張係数	……………			1109
2. 材料特性	……………			1109
3. 加工条件	……………			1109
3.1 素材購入	……………			1110
3.2 切断および荒削り	……………			1110
3.3 熱処理	……………			1110
3.4 仕上研削および面取り	……………			1110
3.5 人工時効処理	……………			1110
3.6 ラッピング	……………			1110
3.7 寸法精度その他の検査	……………			1112
4. 具体例	……………			1112
【2】 セラミックス製ブロックゲージ	……………	<小須田哲雄>	…	1117
まえがき	……………			1117
1. ブロックゲージの要求精度	……………			1117
2. セラミックス製ブロックゲージとその特徴	……………			1118
3. 「セラブロック」の加工技術	……………			1120
3.1 「セラブロック」の加工工程	……………			1120
3.2 平面研削加工	……………			1120
3.3 切断加工	……………			1120
3.4 鏡面加工	……………			1120
あとがき	……………			1122

第3節 定盤

【1】 金属定盤	……………	<田中克敏>	…	1123
まえがき	……………			1123
1. 定盤の精度	……………			1123
2. 金属定盤の特徴	……………			1123
3. きざげによる金属定盤の製作	……………			1124
4. 金属定盤の形状	……………			1129
5. 金属定盤の用途	……………			1129
5.1 支持台としての用途	……………			1129
5.2 平面度の測定	……………			1129
5.3 平行度の測定	……………			1130
5.4 直角度の測定	……………			1130

26 目次

6. 定盤の精度測定	1130	6.2 基準定盤と比較する方法	1131
6.1 オートコロメーターまたは水準器による方法	1130	6.3 基準面と比較する方法	1131
【2】セラミック精密定盤		7. 鋳鉄製3面すり合せ定盤	1132
まえがき	1133	<篠原慎二>	1133
1. セラミック精密定盤の特徴	1133	2. セラミック精密定盤の製造方法	1135
1.1 寸法安定性	1133	2.1 製造工程	1135
1.2 耐摩耗性	1134	2.2 ラッピング	1135
1.3 比剛性	1134	3. 応用例	1136
第4節 セラミックボール		<木下秀俊>	1138
まえがき	1138	2.3 真球度に関する研磨進行曲線に及ぼす定盤材種の影響	1142
1. 開発した磁気浮揚球体研磨法	1138	2.4 平均直径, 相互差に関する研磨進行曲線	1142
1.1 鋼球の研磨加工	1138	2.5 研磨率に及ぼす砥粒粒径の影響	1143
1.2 新しい球体研磨法	1139	2.6 表面粗さに及ぼす砥粒粒径の影響	1143
1.3 研磨中の球体挙動	1139	.....	1143
1.4 磁気浮揚球体研磨装置	1140	2.7 研磨の進行に伴う定盤の摩耗量	1143
2. 研磨事例	1141	あとがき	1143
2.1 パラメータ(研磨条件)	1141		
2.2 真球度に関する研磨進行曲線	1141		
第5節 金型		<井口信明>	1145
まえがき	1145	3. 金型の形状創成と研磨加工	1150
1. 精密モールド成形	1145	3.1 加工の工程	1150
2. モールド金型用材料	1146	3.2 面形状の分類と加工法	1150
2.1 金型用素材の選択	1146	3.3 形状創成加工	1152
2.2 プラスチックモールド金型用の材料	1147	3.4 研磨加工用材料	1152
.....	1147	3.5 研磨加工法	1153
2.3 ガラスモールド金型用の材料	1147	3.6 キャビティの加工例	1156
2.4 素材の種類と加工法	1148	あとがき	1157
第6節 切削工具		<西山昭雄>	1159
【1】超硬合金		3. 加工条件	1161
1. 加工精度・品位	1159	3.1 加工方法	1161
2. 材料特性	1160	3.2 砥石(砥粒とボンド)の選択	1161
2.1 超硬合金	1160	3.3 研削条件	1161
2.2 コーティングチップ	1161	【2】ダイヤモンド	
2.3 サーメット	1161	<島岡宏行>	1163
【2】ダイヤモンド		3.1 多結晶ダイヤモンドの工具の種類	1167
1. 切削工具用ダイヤモンド材料の種類	1163	.....	1167
2. 単結晶ダイヤモンド切削工具の研磨	1163	3.2 多結晶ダイヤモンド切削工具の加工システムの分類	1168
2.1 単結晶ダイヤモンドの機械的性質	1164	3.3 多結晶ダイヤモンドの研削加工	1168
.....	1164	3.4 多結晶ダイヤモンド切削工具の電気加工法	1169
2.2 単結晶ダイヤモンド切削工具の研磨加工機と加工方法	1166		
3. 多結晶ダイヤモンド切削工具の加工	1167		

第8編 超精密マイクロ加工・超微細パターン加工の実際

■第1章 エッチング加工

第1節 配線回路基板	.....	<二瓶公志>	1173	
1. 配線回路基板の範囲	.....	1173	5.1 配線回路基板の微細化ニーズ	1181
2. 配線回路基板の要求機能	.....	1173	5.2 ウェットエッチング加工装置の変遷	1181
3. 配線回路基板の種類	.....	1174	5.3 エッチング液の種類	1182
4. イメージトランスファー技術 (フォトリソグラフィ技術)	.....	1175	6. エッチング加工性：精度の判定	1183
4.1 フォトマスクの作製技術	.....	1175	7. 厚膜ペースト膜のエッチング	1184
4.2 フォトレジスト材料の概要	.....	1179	7.1 工程（プロセス）	1184
4.3 フォトレジストへの要求機能と用途	.....	1179	7.2 基板	1184
4.4 フォトレジストのパターン形成とレ ジスト光化学反応	.....	1180	7.3 金ペースト	1185
5. エッチング加工	.....	1180	7.4 エッチング	1185
			あとがき	1186
第2節 シャドウマスク	.....	<渡辺一生>	1187	
まえがき	.....	1187	3.2 フォトレジスト塗布，乾燥	1190
1. 加工形状および精度	.....	1188	3.3 露光	1190
2. 材料	.....	1189	3.4 現像，硬膜，バーニング	1191
3. 製造方法	.....	1189	3.5 エッチング，はく膜	1191
3.1 脱脂，洗浄工程	.....	1189	3.6 検査	1192
第3節 SiC および SiO ₂	.....	<村原正隆>	1193	
1. SiC の光エッチング	.....	1193	2. SiO ₂ の光エッチング	1197
1.1 SiC の性質と線刻の必要性	.....	1193	2.1 光エッチングの必要性	1197
1.2 光化学反応メカニズムと SiC のレジ ストレスエッチング	.....	1193	2.2 NFO による SiO ₂ /Si 高選択比エッチ ング	1197
1.3 SiC のパターン露光エッチング	.....	1194	2.3 フロンガスを用いたレジストレス SiO ₂ エッチング	1199
1.4 レーザ干渉を利用した SiC 回折格子 の線刻	.....	1196		

■第2章 微細放電加工・放電複合プロセス

第1節 微細工具	.....	<増沢隆久>	1201	
1. 概論	.....	1201	4.2 マイクロドリル，エンドミル	1203
2. 放電研削	.....	1201	4.3 マイクロ打抜き用工具	1204
3. WEDG	.....	1202	4.4 電鑄型，モールド型	1204
4. WEDG による各種微細工具の作製	.....	1202	4.5 マイクロ研削用砥石	1204
4.1 マイクロ EDM 用工具	.....	1202		
第2節 インクジェットプリンタノズル	.....	<河田耕一>	1205	
1. ノズルの加工	.....	1205	2. 微細放電加工	1206

3. 電極の成形	1207	4. 微細放電加工の応用	1208
第3節 微細パイプ・ノズル		<増沢隆久> ..	1210
1. 微細深穴の作製	1210	3.1 基本構成	1210
2. 創成法によるパイプの作製	1210	3.2 プロセスの実例	1210
3. 電铸と放電加工を組み合わせた微細パイ プの作製プロセス	1210	3.3 特徴	1211
		3.4 加工例	1212

■第3章 光・レーザ加工

第1節 回折格子		<細川速美> ..	1213
1. 回折格子の特徴	1213	2.4 その他	1214
2. 回折格子の応用例	1213	3. 回折格子の加工	1214
2.1 光ピックアップ用回折格子(単機能)	1213	3.1 回折格子の分類	1214
2.2 光ピックアップ用回折格子(複機能)	1213	3.2 求められる加工精度	1215
2.3 マルチビームセンサ	1213	3.3 加工方法1(パターンニング)	1215
		3.4 加工方法2(エッチング)	1216
		3.5 複製方法	1216
第2節 ミリ波帯素子		<熊谷 寛> ..	1218
まえがき	1218	3. エキシマレーザエッチングによるミリ波 帯素子作製	1220
1. ミリ波帯用の薄膜基板	1218	あとがき	1222
2. 薄膜の形状加工	1219		
第3節 ゾーンプレート		<小館香椎子> ..	1223
まえがき	1223	2.3 深紫外リソグラフィ法によるマルチ ビームジェネレータゾーンプレート アレイ	1227
1. ゾーンプレートの設計	1223		
2. ゾーンプレートの作製法	1224		
2.1 リソグラフィプロセス	1224		
2.2 ホログラフィックリソグラフィ法に よる斜入射配置ゾーンプレートアレイ	1226		

■第4章 電子ビーム加工

第1節 電子ビーム露光——LSIへの応用		<滝川忠宏> ..	1231
まえがき	1231	2. 直接描画	1235
1. マスク描画	1231	あとがき	1237
第2節 回折格子とホログラム		<大沼一彦> ..	1239
まえがき	1239	3.2 回折格子を紙幣に用いた例	1240
1. 露光装置	1239	3.3 計算機ホログラム	1241
2. 電子線レジスト	1239	3.4 ディスプレイホログラム	1241
3. 具体例	1240	あとがき	1241
3.1 平面回折格子を用いた分光光学系	1240		

第3節 フレネルレンズ	<後藤博史> ...	1243
まえがき		1243
1. MFL		1243
1.1 MFLの構成		1243
1.2 電子ビーム偏向描画によるMFL作製方法		1243
2. 大口径MFL描画用電子ビーム描画装置		1244
2.1 描画原理		1244
2.2 電子ビーム描画装置構成		1245
3. 電子ビーム描画装置で作製したMFLの特性		1246
3.1 外観		1246
3.2 光学特性		1246
4. MFLの応用例		1246
あとがき		1247
第4節 ロータリエンコーダディスク原盤	<米田匡宏> ...	1249
まえがき		1249
1. エンコーダディスクの作製法		1249
2. 従来の電子線描画法との比較		1249
3. 電子線描画装置仕様		1250
4. エンコーダディスク原盤の作製原理		1250
5. エンコーダディスク原盤の仕様		1252
6. 作製結果		1252
あとがき		1253
■第5章 イオン・イオンビーム加工		
第1節 半導体デバイスのリソグラフィ技術への応用	<森本博明> ...	1254
まえがき		1254
1. マスクを用いたイオンビームリソグラフィ		1254
2. FIBリソグラフィの基礎特性		1255
3. デバイス製作への応用例		1256
あとがき		1257
第2節 超平坦高反射率X線ミラーの製作	<山田 公> ...	1258
まえがき		1258
1. 超高真空型ICB蒸着装置		1258
2. ICBによる超平坦薄膜形成プロセス		1258
2.1 薄膜形成過程		1258
2.2 表面平坦性		1260
2.3 結晶性および結晶構造		1260
3. ICB-Au薄膜のX線反射特性		1261
4. 耐環境性		1262
あとがき		1263
第3節 シリカガラス表面の平坦化	<大吉啓司> ...	1264
まえがき		1264
1. 比較的低いエネルギー(数keV~数十keV)の入射イオンによる平坦化加工		1264
2. 比較的高いエネルギー(>数十keV)のイオンによる平坦化加工		1264
あとがき		1266
第4節 マイクロレンズ	<嶋田純一> ...	1268
1. マイクロレンズの必要性		1268
2. マイクロレンズ		1268
2.1 分布屈折率膜の作製法とその特性		1268
2.2 マイクロレンズの加工と光学特性		1271
3. マイクロレンズと半導体レーザの集積化		1272
4. マイクロレンズの今後の展開		1273
第5節 超硬合金	<宮本岩男> ...	1275
まえがき		1275
1. 実験試料, 加工装置および測定装置		1275

30 目次

2. 超硬合金のイオンビーム加工特性	1276	3.1 パターン深さが数 μm の場合	1278
2.1 試料とTiマスクのイオンビーム加工速度	1276	3.2 パターン深さが1 μm 以下の場合	1279
2.2 表面粗さの加工深さ依存性	1276	3.3 パターン深さが10 μm 以上の場合	1279
2.3 加工物の表面性状とWCの粒度の関係	1277	あとがき	1280
3. マスクパターンとイオンビーム転写	1278		

第6節 回折格子

【1】ホログラフィック回折格子	<長野哲也/原田善寿>	1281
1. 平面回折格子		1281
1.1 はじめに		1281
1.2 フォトレジスト塗布工程		1281
1.3 露光・現像工程		1282
1.4 エッチング工程(ブレイズ加工)		1283
1.5 レプリカ工程		1284
【2】SiC回折格子	<小枝勝>	1290
まえがき		1290
1. SiCのエッチング法		1290
1.1 プラズマエッチングによるSiCのエッチング法		1290
1.2 イオンビームエッチングによるSiCのエッチング法		1292
1.3 SiCのその他のエッチング法		1292
2. SiC回折格子		1293
あとがき		1295
【3】光学的評価	<石黒英治>	1297
まえがき		1297
1. イオンエッチング回折格子		1297
1.1 回折効率		1297
1.2 結像特性と分解能		1297
1.3 迷光		1298
1.4 真空紫外用回折格子		1299
2. SiC回折格子		1299
2.1 回折効率		1299
2.2 迷光		1301
2.3 耐熱テスト		1301

■第6章 X線加工

第1節 IC露光	<出口公吉>	1303
1. これまでの経過		1303
2. X線リソグラフィの素子製造への適用例		1303
2.1 プロセス概要		1303
2.2 露光システム		1304
2.3 X線マスク		1304
2.4 レジストプロセス		1305
2.5 重ね合せ精度		1306
2.6 スループット		1306
2.7 デバイス特性		1307
3. 今後の課題		1308
第2節 回折格子	<西田敏夫>	1311
まえがき		1311
1. 回折格子作製技術		1311
2. LDアレイ用回折格子と発振スペクトルの特徴		1312
3. 回折格子周期制御系		1313
4. X線マスク作製		1313
5. SR露光によるパターン転写		1314
6. 周期評価		1315

7. レーザ作製工程および素子特性	1316
-------------------	------

第9編 その他の加工の実際

■第1章 精密変形加工

第1節 抜き加工	<神馬 敬>		1321
1. 通常の抜き加工	1321	2.5 上下抜き	1322
2. 各種の精密抜き加工法	1321	3. IC リードフレームの抜き加工	1322
2.1 ファインブランキング	1321	3.1 多ピンリードフレーム	1322
2.2 シュービング法	1321	3.2 リードの形状不良	1323
2.3 対向ダイスせん断法	1321	3.3 金型とプレス	1324
2.4 仕上げ抜き	1322	3.4 リードの欠陥生成モデル	1327
第2節 コイニング	<木村 南>		1328
1. コイニングとは	1328	2.5 超塑性材料の利用	1330
2. コイニング技術	1328	2.6 粉末コイニング	1330
2.1 材 料	1328	3. 用 途	1332
2.2 加工シミュレーション	1328	3.1 電子部品	1332
2.3 振動・仕上げ抜きの応用	1329	3.2 精密機械部品	1332
2.4 ファインブランキングとの複合加工	1330	3.3 容 器	1333
第3節 スピニング	<葉山益次郎>		1334
1. スピニング技術の特徴と概要	1334	2.4 一般的な寸法公差	1337
2. スピニング製品の精度と加工条件	1334	3. スピニングの加工例と利用技術	1338
2.1 加工の基本的な方法と精度	1334	3.1 しごき加工の例	1338
2.2 加工条件と精度	1336	3.2 どんなシェル体もできる	1339
2.3 制御と精度	1336	3.3 複合化への方向	1340
第4節 マイクロ打抜き加工	<増沢隆久>		1341
1. 微細穴打抜きの意義	1341	4. マイクロ打抜きシステムの実施例	1342
2. 微細穴打抜きにおける問題点	1341	5. マイクロ打抜きシステムの特徴	1343
3. 新しい打抜きシステム	1341		
第5節 鏡面成形加工	<村川正夫>		1344
まえがき	1344	2. 感光ドラム用素管製作と鏡面加工	1344
1. 塑性加工法による感光ドラム用素管製作の背景	1344	2.1 鏡面加工を行う場合の留意点	1344
		2.2 感光ドラム用素管の製作	1346

■第2章 精密付加加工

第1節 精密付加加工技術の種類とその特徴比較	<三宅正二郎>		1348
まえがき	1348	1.1 物理蒸着 (PVD)	1348
1. 精密薄膜形成技術	1348	1.2 化学蒸着 (CVD)	1348

32 目次

2. 微細形状薄膜加工	1350	2.2 SPMを用いた微細薄膜形成	1350
2.1 エネルギーアシストCVD	1350		
第2節 無電解ニッケル-リンめっき		＜伊藤英弥＞	1352
まえがき	1352	5.1 硝酸による不動態化方法	1356
1. 無電解ニッケル-リンめっきの特徴	1352	5.2 電位をかける方法	1356
2. 無電解ニッケル-リン浴の組成と役割	1353	6. めっき作業管理	1356
.....	1353	6.1 建浴	1356
3. めっき前の素材上の注意	1353	6.2 めっき反応開始	1356
4. 設備関係	1354	7. めっき液の分析補充	1357
4.1 めっき槽	1354	8. めっき浴の更新	1357
4.2 めっき液の加熱	1354	9. 品質管理	1357
4.3 ろ過方法	1354	＜膜厚の管理＞	1357
4.4 温度調節	1354	10. めっき後の処理	1358
4.5 かくはん	1355	11. めっき皮膜のはく離	1358
4.6 揺動	1355	12. 製品検査	1358
4.7 ジグ	1356	あとがき	1359
5. めっき槽への析出防止方法	1356		
第3節 エピタキシー（エピタキシャル成長）技術		＜今村義宏＞	1360
まえがき	1360	2. 基板結晶の種類と加工技術	1360
1. 主な成長法の概要	1360	3. L P E	1361
1.1 液相エピタキシャル成長法（LPE： Liquid Phase Epitaxy）	1360	4. V P E	1361
1.2 気相エピタキシャル成長法（VPE： Vapor Phase Epitaxy）	1360	5. MOVPE	1362
		6. M B E	1362
第4節 コーティング			
【1】ディッピング，スピコーティング		＜三宅正二郎＞	1364
まえがき	1364	2. スピコーティング	1364
1. ディッピング	1364		
【2】干渉膜，反射防止膜，硬質膜		＜三宅正二郎＞	1366
1. 干渉膜	1366	3.1 ダイヤモンド膜	1367
2. 反射防止膜	1366	3.2 立方晶窒化ホウ素膜	1368
3. 硬質膜	1367	3.3 ダイヤモンドライクカーボン膜	1368
【3】耐摩耗性膜，潤滑膜		＜三宅正二郎＞	1370
まえがき	1370	2. 潤滑膜	1372
1. 耐摩耗性膜	1370		
■第3章 その他の精密レプリカ			
第1節 原盤作製			
【1】光ディスク原盤・CD原盤		＜川崎実＞	1375
まえがき	1375	1.2 レジスト原盤	1376
1. 光ディスクスタンパーの製造方法	1375	1.3 金属原盤（スタンパー）	1377
1.1 ガラス原盤	1375	2. 光ディスク原盤の品質	1379

2.1	マイクロメータ	1379	2.9	走査型電子顕微鏡 (SEM)	1383
2.2	超音波測定機	1379	2.10	走査トンネル顕微鏡 (STM), 原子 間力顕微鏡 (AFM)	1383
2.3	ビッカース硬度計	1380	2.11	オージェ電子分光	1383
2.4	触針型表面粗さ計	1380	2.12	光学顕微鏡, 蛍光顕微鏡	1384
2.5	レーザ検査機	1381	2.13	超音波顕微鏡	1384
2.6	スパイラル応力計	1382	あとがき		1385
2.7	X線回折	1382			
2.8	磁化式応力測定法	1383			
【2】	オーディオ原盤			<川崎 実>	1387
まえがき		1387	3.5	仕上げ	1389
1.	オーディオ原盤の製造方法	1387	4.	オーディオ原盤の品質	1389
2.	ラッカー原盤製作	1387	4.1	光学顕微鏡	1389
2.1	アルミニウム金属ラッカー盤	1387	4.2	マイクロメータ	1390
2.2	記録ラッカー盤 (カッティング盤)	1387	4.3	マザー再生機	1390
3.	金属原盤製作	1388	4.4	ビッカース硬度計	1390
3.1	導体化	1388	4.5	折り曲げ試験機	1390
3.2	マスタ電鍍	1388	4.6	スパイラル応力計	1390
3.3	マザー盤	1388	4.7	蛍光 X線分析	1391
3.4	スタンパー	1388	あとがき		1391
【3】	工具研磨用原盤			<西口 隆>	1392
まえがき		1392	3.	バリ取りについて	1398
1.	微細溝研磨工具の製作	1394	4.	微細溝研磨工具の溝角度低減	1399
2.	微細溝切削時におけるバリ	1394	あとがき		1399
第2節 プラスチック成形					
【1】	光ディスク・CD			<町田秀夫>	1401
まえがき		1401	3.2	金型	1404
1.	光ディスクの構造と製造プロセス	1401	3.3	成形材料	1404
2.	成形基板の要求特性	1401	3.4	成形条件	1404
3.	基板の作製法	1402	3.5	その他	1406
3.1	成形機	1403	あとがき		1406
【2】	プラスチックレンズ			<草野正明>	1408
まえがき		1408	5.2	湿度特性	1411
1.	プラスチックレンズの特徴	1408	6.	今後の展望	1412
2.	プラスチックレンズの応用例	1408	6.1	射出成形技術	1412
3.	射出成形技術	1408	6.2	光学プラスチック材料の問題	1412
4.	金型加工技術	1410	6.3	プラスチックレンズの将来	1412
5.	プラスチック材料の環境特性	1410	あとがき		1412
5.1	温度特性	1411			
【3】	投射型TV用スクリーン			<本田 誠>	1414
まえがき		1414	2.	フレネルシート	1415
1.	投射型TVの構造	1414	2.1	フレネルレンズの設計	1415
1.1	シングルスクリーン	1414	2.2	フレネルレンズ金型	1416
1.2	ダブルスクリーン	1414	2.3	フレネルレンズ成形用樹脂	1416
1.3	クロスレンチスクリーン	1414	2.4	フレネルレンズの成形	1416

34 目次

3. レンチキュラーシート	1417	3.3 レンチキュラーレンズ成形用樹脂	1418
3.1 レンチキュラーシート的设计	1417	3.4 レンチキュラーレンズの成形	1419
3.2 レンチキュラーレンズ金型	1418		

■第4章 精密接合

第1節 精密接合技術の種類とその特徴比較	<須賀唯知>	1421
まえがき		1421
1. マテリアルインターコネクション		1421
2. 精密接合技術の分類		1424
2.1 接着技術		1424
2.2 接合技術		1425
第2節 精密接着技術	<柳原榮一>	1429
まえがき		1429
1. 精密接着用接着剤		1429
1.1 エポキシ樹脂		1429
1.2 第2世代アクリル樹脂 (SGA)		1430
1.3 紫外線硬化レジン (UVA)		1430
1.4 シアノアクリレート		1431
1.5 適用上の留意点		1431
2. 接着接合の具体例		1431
2.1 磁気ヘッド		1431
2.2 光通信用部品		1432
2.3 光記録用部品		1433
2.4 プリント回路板 (PCB)		1434
2.5 液晶表示素子		1435
あとがき		1436
第3節 ビーム溶接技術		
【1】 レーザ	<石川 憲>	1437
1. レーザ溶接の種類		1437
2. レーザ溶接の特徴		1438
3. 溶接品質とその要因		1438
3.1 溶接条件		1438
3.2 CO ₂ レーザと YAG レーザの使い分け		1444
【2】 電子ビーム	<村上英信>	1446
まえがき		1446
1. 電子ビーム溶接の原理と一般的特徴		1446
1.1 高パワー密度熱源		1446
1.2 真空中の清浄雰囲気溶接		1446
1.3 ビームパラメータの高速・高精度電磁界制御		1447
2. 電子ビーム溶接の応用		1447
3. 電子ビーム溶接装置		1448
3.1 電子銃系		1448
3.2 高電圧電源および制御系		1449
3.3 加工室系		1449
3.4 溶接位置検出系		1450
第4節 拡散接合技術	<大橋 修>	1451
まえがき		1451
1. 拡散接合の実用例に見る傾向		1451
2. 拡散接合の実用の具体例		1453
あとがき		1455
第5節 陽極接合	<大橋弘通>	1457
まえがき		1457
1. シリコン直接張合せ技術の概要		1457
2. 張合せウェーハの原理		1457
3. 張合せ技術の課題		1458
3.1 ボイド発生や界面汚染の防止		1458
3.2 異種材料の張合せ		1459
3.3 活性層の薄膜化		1459
あとがき		1460
第6節 マイクロジョイニング	<町田一道>	1462
まえがき		1462
1. マイクロジョイニングの定義と分類		1462

2. 半導体のボンディング	1462	4.2 界面反応接合	
2.1 接合の微細化	1462	—セラミック基板の高信頼性接合	1468
2.2 接合の高速・安定化	1463	4.3 常温界面接合	
2.3 耐熱信頼性の向上	1465	—エネルギー不要のこれからの	
3. 基板の表面実装はんだ付	1465	接合	1469
3.1 実装形態の進展	1465	あとがき	1470
3.2 高密度実装接合の技術動向	1466		
4. その他2, 3の接合プロセス例	1468		
4.1 蒸気シールド加圧接合			
—高品質接点接合	1468		

■第5章 精密改質技術

第1節 アロイング		〈近崎充夫〉	1472
まえがき	1472	3. 拡散浸透法によるアロイング	1474
1. レーザアロイング	1472	3.1 プラズマ法による拡散浸透	1474
2. 電子ビームアロイング	1473	3.2 金属浸透法	1476
第2節 イオン注入		〈岩木正哉〉	1479
まえがき	1479	4. イオンビームミキシング	1481
1. イオン注入装置の概要と特色	1479	あとがき	1482
2. 金属材料の改質	1480		
3. セラミックス, ポリマー, 炭素材の改質	1481		
第3節 アニールング		〈近崎充夫〉	1483
まえがき	1483	2. ランプ加熱	1485
1. レーザアニールング	1483		
第4節 イオン交換		〈吉田国雄〉	1487
まえがき	1487	1.3 中性溶液処理によるAR膜の製作	1489
1. 化学処理によるAR膜の製作	1487	1.4 多孔性誘電体蒸着AR膜	1490
1.1 分相法によるAR膜の製作	1487	2. イオン交換によるマイクロレンズの製作	1491
1.2 ゾル・ゲル法によるAR膜の製作	1489		

■第6章 微細化技術

第1節 薄片化技術		〈黒部利次〉	1493
まえがき	1493	2. 箔の展延機構	1494
1. 箔打紙	1493	あとがき	1496
第2節 細線化技術		〈中原基博〉	1497
1. 光ファイバ	1497	1.3 光ファイバの作製	1498
1.1 光ファイバの構造	1497	1.4 光ファイバの特性	1499
1.2 光ファイバの種類	1497	2. 細線化技術	1499

36 目 次

2.1 細線化装置	1499	2.3 高強度化技術	1500
2.2 線径制御技術	1500	2.4 細線化工程での低損失化技術	1501
第3節 エッチング		<任田隆夫> ...	1503
まえがき	1503	2.2 先鋭化ピラミッド状探針	1504
1. AFMの力検出機構	1503	2.3 円錐状Si単結晶探針	1505
1.1 力検出機構	1503	2.4 電子ビーム支援堆積法による探針	1505
1.2 カンチレバー・探針に必要な特性	1503	2.5 ZnO ウィスカ探針	1505
2. 探針付きカンチレバーの種類と製法 ...	1504	3. AFM像の探針による差異	1506
2.1 ピラミッド状探針	1504	あとがき	1507
第4節 イオンミーリング		<宮本岩男> ...	1508
まえがき	1508	2.2 ダイヤモンドバイトの加工	1511
1. ダイヤモンド工具のイオンビーム加工における特徴および注意点	1508	2.3 ダイヤモンドナイフの加工	1512
2. ダイヤモンド工具の加工例	1509	2.4 STM用半導体ダイヤモンド探針の加工	1512
2.1 ダイヤモンド圧子および触針の加工	1509	あとがき	1513
第5節 新しいエピタキシー技術		<今村義宏> ...	1514
1. シリコン基板上へのエピタキシャル成長	1514	3.1 原子層エピタキシー (ALE: Atomic Layer Epitaxy)	1515
1.1 SOI (Si On Insulator)	1514	3.2 MEE, FME	1516
1.2 Si _{1-x} Ge _x on Si の成長	1514	4. 酸化物のエピタキシー	1516
1.3 III-V族半導体 on Si の成長	1514	5. II-VI族半導体結晶のエピタキシャル成長	1516
2. 選択成長技術	1515		
3. 原子オーダーのエピタキシャル成長	1515		