

目次

- 監修のことば
- 第1巻発刊のことば
- 執筆者一覧

第1編 総論

■第1章 超精密生産技術の歴史の変遷

..... <小林 昭> ...		3	
1. 貴石類の磨き	3	5. 工作機械の進歩	6
2. 巨大建造物の例	4	6. 超精密切削加工に関する動き	7
3. 金属の磨き	4	7. 日本における超精密加工の進展	8
4. ブロックゲージの誕生	5		

■第2章 超精密生産技術の定義と分類

..... <小林 昭> ...		11	
1. 超精密加工から超精密生産技術へ	11	3. マイクロエレクトロニクス時代	13
2. 超精密生産技術の分類	11		

■第3章 超精密生産技術に携わる人の資質

..... <小林 昭> ...		16	
1. 恩師熊谷先生の教え	16	4. 感性の育成	19
2. 自分自身の体験	16	5. 宮大工の育成	19
3. 海外で見たり聞いたりしたこと	18	6. 板前修行	19

■第4章 超精密生産技術の将来への課題

..... <小林 昭> ...		21	
1. 超精密技術の将来展望	21	2.4 これからの光学工業における材料	21
2. これからの時代に必要とされる材料の種類と特徴	21	2.5 これからのX線光学分野における材料	22
2.1 これからの機械工業における材料	21	3. 高形状精度を与える力学的エネルギーを用いた加工法における諸問題	25
2.2 これからの電気機械工業における材料	21	4. 超精密生産技術について考慮に入れなげ	
2.3 これからの半導体工業における材料	21		

第2編 超精密切削加工法

■第1章 概 要

第1節 歴史的発展の経緯と意義（重要性）	〈井川直哉〉	29
まえがき		29
1. 発展の経緯		29
2. 基盤となる技術		30
3. その意義とこれから		30
第2節 超精密生産技術における役割	〈井川直哉〉	31
1. 先端的科学・技術と超精密切削		31
2. 適応材料		32

■第2章 超精密切削加工の原理

第1節 加工機構	〈井川直哉〉	33
まえがき		33
1. 微細切削の特異性		33
2. 微細切削における切りくず生成と仕上面の形成機構		33
3. マイクロマシナビリティ		34
3.1 結晶粒界段差		34
3.2 工具との親和性		35
3.3 介在物		35
3.4 脆性-延性遷移特性		36
第2節 超精密切削加工理論	〈森脇俊道〉	37
まえがき		37
1. 超精密切削の特徴		37
2. 単結晶材料の超精密切削機構		37
2.1 SEM内超微小2次元切削実験結果		37
2.2 剛塑性有限要素法による解析		39
3. 多結晶材料の超精密切削機構		40
4. 超精密振動切削機構		41
あとがき		43
第3節 超精密切削の数値解析技術	〈稲村豊四郎〉	44
まえがき		44
1. 連続体モデルによる解析		44
1.1 単純せん断面モデル		44
1.2 剛塑性有限要素法モデル		44
2. 原子系モデルによる解析		46
2.1 分子力学モデル		46
2.2 分子動力学モデル		48
第4節 加工精度を支配する要因	〈井川直哉〉	50
まえがき		50
1. 工作機械		50
2. 工作物		51
3. 切削工具		52
4. 切削現象		52
5. 加工環境		53
第5節 加工変質層	〈堀尾健一郎〉	54
1. 加工変質層と残留応力		54
2. 各種加工変質層測定法		54
3. ダイヤモンド切削における加工変質層の特徴		55
4. 加工変質層測定例（I）——X線応力測定法——		55
4.1 加工工程による残留応力の推移		55
4.2 切削距離による残留応力の推移		56

5. 加工変質層測定例(Ⅱ)——変形法——	57	5.2 残留応力分布の計算式	57
.....	56	5.3 測定手順	58
5.1 原理——真の残留応力——	56	5.4 測定結果	58

■第3章 各種超精密切削加工法の基本

第1節 円筒旋削加工	.....	<鈴木 弘>	61
まえがき	61	2.4 ベッド	63
1. 超精密円筒旋削の用途	61	2.5 周辺機器	63
2. 超精密円筒切削法の原理	61	3. ドラム加工用超精密旋盤	64
2.1 主 軸	62	4. ダイヤモンド切削	65
2.2 テーブル案内	62	あとがき	66
2.3 刃物台	63		
第2節 超精密平面旋削	.....	<梶田 正美 / 渡辺 真>	67
まえがき	67	5.2 切削液のかけ方	70
1. 加工方式	67	5.3 切削面上の境界層	70
2. 超精密正面旋盤	67	6. 工作物材質と加工精度・品質	70
3. 工 具	67	6.1 スクラッチ	71
3.1 工具形状	67	6.2 被削材の結晶性	71
3.2 ダイヤモンド工具の摩耗	68	7. その他の留意事項	71
3.3 CBN 工具	69	7.1 切 削 熱	71
4. チャッキング	69	7.2 合成樹脂の切削	72
5. 切削液と切りくず排出	70	7.3 ガラスの鏡面切削	72
5.1 切削液粘度	70	あとがき	72
第3節 フライカット法による各種形状加工	.....	<上田 勝宣>	73
1. フライカット法の特徴	73	3. 平フライス削りによる超精密切削加工	76
2. 正面フライス削りによる超精密切削加工	73	3.1 楕円筒の加工方法と形状精度に及ぼす影響	76
2.1 平面および球面の加工方法	73	3.2 楕円筒加工装置	76
2.2 球面精度に及ぼす影響	73		
2.3 平面・球面加工装置	75		

■第4章 超精密切削加工装置および要素の基本

第1節 切削装置の構造	.....	<森 脇 俊 道>	79
まえがき	79	1.3 経時的安定性	80
1. 構造に要求される機能	79	2. 加工機の構造形態と構造用材料	80
1.1 静・動剛性	79	3. 構造の具体例	81
1.2 熱的特性	79	あとがき	82
第2節 主要構成要素	.....	<青山藤詞郎>	83
1. スピンドル	83	1.3 空気静圧軸受の基礎	89
1.1 軸受の種類	83	1.4 主軸とその駆動系	94
1.2 油静圧軸受の基礎	84	2. 送り駆動系	94

4 目次

2.1 案内面の種類	94	4. ベッド	99
2.2 送り駆動系	96	5. 工作物取付具	99
3. 微動位置決め機構とアクチュエータ	98		
第3節 計測・制御機器		＜河野嗣男＞	101
1. 超精密切削加工における計測・制御機器	101	3. 超精密加工および計測に対する環境問題	102
2. 超精密計測装置	101	4. オンマシン・インプロセス加工制御	102
■第5章 超精密切削加工用工具・加工液の基本			
第1節 超精密切削工具の要件		＜島田尚一＞	104
まえがき	104	2. 転写性	104
1. 最小切取り厚さと切取り厚さの分解能	104	3. 耐久性	106
第2節 工具材料		＜島田尚一＞	109
まえがき	109	4. 刃先強度	111
1. 切れ刃稜の鋭利さとその安定性	109	5. 耐摩耗性	111
2. 切れ刃稜の滑らかさ	110	6. 熱化学的性質	112
3. 被削材との親和性	110		
第3節 工具の製法		＜西口 隆＞	115
まえがき	115	3. 円弧切れ刃切削工具	118
1. 研磨方法	115	3.1 高精度円弧切れ刃形状の必要性	118
2. 直線切れ刃切削工具	116	3.2 円弧切れ刃切削工具の研磨技術	119
2.1 直線切れ刃の真直度	116	3.3 円弧切れ刃切削工具研磨装置	120
2.2 直線切れ刃切削工具の研磨技術	117	あとがき	122
第4節 工具刃先の幾何学的形状評価		＜浅井昭一＞	123
まえがき	123	2.2 3次元測定器による立体形状測定	125
1. 光学測定による刃先とすくい面の評価	123	2.3 転写法による刃先評価	125
1.1 ノマルスキー微分干渉顕微鏡による観察	123	3. 走査型電子顕微鏡 (SEM) による刃先測定	126
1.2 レーザ干渉計による面粗さ測定	124	3.1 コーナ半径と形状精度測定	126
1.3 切れ刃稜粗さの評価	125	3.2 反射電子による立体形状の測定	127
2. 接触式測定器による刃先の評価	125	3.2 2次電子による測定	128
2.1 形状測定器によるコーナ形状測定	125	あとがき	128
第5節 ダイヤモンドバイトの結晶方位と寿命		＜荒川直也＞	130
まえがき	130		130
1. 切削加工表面の評価 (結晶方位, ESR 評価との関係)	130	1.2 実験Ⅱ	131
1.1 実験Ⅰ (生産現場での寿命テスト)		2. 切削による刃先の形態変化	135
		あとがき	137

第6節 加工液	＜横山健三＞	138	2. 加工液の作用	139
まえがき		138	3. 加工液の効果	140
1. 加工液の種類		138	4. 供給方法	140
1.1 不水溶性油剤の分類		138		
1.2 組成と成分		139		

■第6章 技術の現状と展望

第1節 加工精度	＜井川直哉＞	142	2. フライカッティングタイプ	143
まえがき		142	3. 今後の課題	143
1. 旋削タイプ		142		
第2節 加工面品質	＜井川直哉＞	145		
まえがき		145	2. 加工変質層	145
1. 仕上面粗さ		145	3. 二、三の機能特性	145

第3編 超精密研削加工法

■第1章 概要

第1節 歴史的発展の経緯	＜小林昭＞	149		
1. 日本中世における古鏡・刀剣類の砥石研磨技術		149	3. 日本における研削加工法の進展	150
2. 工業社会以後の研削加工技術の歴史		150	4. 国際的な動き	151
第2節 超精密生産技術における役割	＜小林昭＞	152		
まえがき		152	1.2 1990年の研削加工技術	152
1. 将来予測		152	2. 超精密加工技術の中に占める超精密研削加工技術の将来	153
1.1 1980年の研削加工技術		152		

■第2章 超精密研削加工原理

第1節 除去加工メカニズム	＜宮下政和＞	156		
1. 押込みテストにおける材料破壊機構		156	3. 脆性材料の延性モード切削と延性モード研削	160
1.1 材料の塑性変形に要するエネルギーとき裂発生に要するエネルギーの比較		157	3.1 脆性材料の延性モード切削テスト	160
1.2 延性・脆性押込み深さ遷移点 d_c の定量化		158	3.2 脆性材料の延性モード研削テスト	163
2. 除去加工から見た脆性材料の破壊テスト		159	4. 超精密加工と材料除去分解能	164
第2節 超精密研削加工理論	＜宮下政和＞	167		
1. 研削加工における母性原理		167	ンセシスの概念	168
2. 運動転写原理に基づく超精密研削工程シ			3. 運動転写原理に基づく超精密研削加工を	

6 目次

実現するための条件	168	8. 超精密研削加工を支配するキーパラメータの検討	172
4. 多刃工具としての研削砥石を用いた延性モード研削	169	8.1 研削砥石の接触剛性 k_{con} を支配する要因	173
5. 材料除去分解能	170	8.2 研削剛性 k_e を支配する要因	173
6. 自励びり振動の除去対策	171	9. 運動転写による表面創成可能な研削盤の剛性設計	174
7. 運動制御系の時間遅れによる運動転写誤差	172		

第3節 運動転写原理に基づく研削加工精度に対応する研削加工工程のシンセシス

		＜宮下政和＞	176
1. 運動転写原理における研削盤の運動精度と研削加工精度の因果律	176	3.1 ダイヤモンド砥石の超精密トルーイ	177
2. 運動転写原理に基づき脆性材料を延性モード研削するための研削盤, 研削砥石の運動および形状精度仕様	176	3.2 研削砥石の延性モード摩耗	177
3. 砥粒切込み深さの制御と新研削加工理論		4. 研削加工精度に対応する研削加工工程のシンセシス	178

■第3章 各種超精密研削加工法の基本

第1節 円筒型砥石による研削

まえがき	180	4. 鏡面研削条件と粗さ精度	182
1. 加工方法と精度	180	4.1 鏡面研削条件	182
2. 鏡面研削法	181	4.2 鏡面研削粗さ精度	182
3. 鏡面研削の留意事項	181	あとがき	184

第2節 カップ形砥石による研削

まえがき	185	4. 鏡面研削方式と粗さ精度	186
1. 加工方法と精度	185	4.1 クリープフィード鏡面研削	186
2. 鏡面研削法	185	4.2 インフィード鏡面研削	188
3. 鏡面研削の留意事項	186	あとがき	191

第3節 研削切断

まえがき	193	4. 鏡面切断条件と面精度	194
1. 加工方法と精度	193	4.1 鏡面研削条件	194
2. 鏡面切断法	193	4.2 鏡面研削粗さ精度	194
3. 鏡面切断の留意事項	194	あとがき	196

■第4章 超精密研削加工装置および要素の基本

第1節 研削装置の構造(本体構造)

		＜小川秀樹＞	197
1. 超精密加工機の基本的構造	197	1.6 制御軸	198
1.1 ベッド構造	197	2. 研削装置の構造	199
1.2 主軸スピンドル	197	2.1 2軸スライド構造による研削	199
1.3 スライドウェイ	197	2.2 3軸スライド構造による研削	200
1.4 フィードバックシステム	198	2.3 研削スピンドル	200
1.5 CNC コントローラ	198	2.4 研削液	200

2.5 ドレッシング機構	200	2.6 ホイールセットステーション	201
第2節 主要構成要素	.....	<金井 彰>	202
まえがき	202	3. ベッド	205
1. スピンドル	202	4. チャッキングと研削砥石台	205
2. 送り機構とアクチュエータ	204		
第3節 計測・制御系	.....	<上野 滋>	207
まえがき	207	4.1 NC装置	211
1. 回転運動の検出	207	4.2 直線運動補正システム	215
2. 直線運動の検出	209	4.3 回転運動補正システム	216
3. 傾き、角度の検出	211	4.4 ソフトウェア誤差補正	217
4. 機械の運動制御	211		
■第5章 超精密研削加工用砥石・加工液の基本			
第1節 砥石の要件	.....	<吉川昌範>	219
まえがき	219	3. 超精密研削加工における評価	220
1. 研削作用とは	219	あとがき	222
2. 砥石の要素	219		
第2節 添加物	.....	<三宅正二郎>	223
まえがき	223	2. その他の添加物	225
1. 固体潤滑剤	223		
第3節 砥石の製法（工程、各工程）	.....	<長南教孝>	227
まえがき	227	2.3 ホットプレス法	230
1. レジンボンドホイールの製造	227	3. ビトリファイドボンドホイールの製造	231
2. メタルボンドホイールの製造	229	.....	231
2.1 フリーセンター法	229	4. 電着ホイールの製造	231
2.2 ホットコイニング法	230	5. その他の製造方法	234
第4節 ドレッシング・ツルーイング	.....	<大森 整>	235
まえがき	235	2.1 電解インプロセスドレッシング	237
1. ドレッシング・ツルーイング作業の必要性	235	(ELID)法	237
1.1 一般砥石とメタルボンド砥石	235	2.2 ELID ツルーイング法	238
1.2 ドレッシング法の役割	236	3. ELID 研削およびツルーイング効果	239
1.3 ツルーイング法の役割	237	3.1 ELID 研削法の効果	239
2. 精密ドレッシング・ツルーイング原理	237	3.2 ELID ツルーイング法の効果	240
.....	237	あとがき	241
第5節 加工液	.....	<横山健三>	243
まえがき	243	1.2 水溶性油剤の構成	244
1. 加工液の種類	243	2. 加工液の作用	244
1.1 JISによる分類	243	3. 供給方法と浄化方法	245

3.1 供給方法	245	4.1 加工液の特性	246
3.2 浄化方法	245	4.2 鏡面用加工液の研削事例	246
4. ELID 研削用加工液	246	4.3 加工液の課題	247

■第6章 超精密研削加工技術の現状と展望

第1節 自由曲面創成研削における研削加工精度	<宮下政和>		248
1. 研削加工精度とは?	248		249
2. 運動転写原理に基づく力学的転写誤差の見積もり	249	2.3 NC制御曲線プロフィール研削の力学的転写誤差見積もりの手順	250
2.1 プランジ研削の場合	249	3. 力学的転写誤差解析から見た超精密研削機械および研削砥石の課題	252
2.2 NC制御曲線プロフィール研削の場合			
第2節 超精密研削加工面の仕上面粗さと品質	<宮下政和>		253
1. 超精密研削加工面の加工変質層と仕上面粗さ	253	工変質層の改善	256
2. 砥粒切込み深さ分解能から見た粗さと加		3. 新研削理論から見た材料除去分解能の将来	258
第3節 超精密研削加工技術を支える周辺技術	<宮下政和>		261
1. 力学的転写誤差の改善対策	261	2. 砥粒切込み深さ分解能向上対策	263
1.1 ループ静剛性向上対策	261	2.1 第1段階	263
1.2 ループ減衰比向上対策	262	2.2 第2段階	263

第4編 超精密研磨加工法

■第1章 概要

第1節 歴史的発展の経緯	<河西敏雄>		267
まえがき	267	2. 昔の高度研磨加工	268
1. 研磨技術の発展	267	3. 最近の光学部品製作技術の進展	270
第2節 超精密生産技術における役割	<河西敏雄>		272
まえがき	272	3. 単品加工に適用される超精密研磨加工	276
1. 各種加工法の中の超精密研磨加工	272	あとがき	276
2. 量産が要求される超精密研磨加工	274		

■第2章 超精密研磨原理と研磨法の分類

第1節 加工メカニズム	<河西敏雄>		278
まえがき	278	ズム	278
1. ラッピングとポリシングの用語の区分	278	2.2 ポリシングや超精密研磨加工のメカニズム	279
2. 研磨加工における切りくず生成メカニズム	278	3. 研磨における表面粗さ、加工変質層の生成	281
2.1 ラッピングや砥石研磨加工のメカニ		あとがき	283

第2節 超精密研磨加工理論	〈河西敏雄〉	285
まえがき	解析と実験結果	287
1. 研磨加工の理論的扱い	2.3 三面ラップの擦り合わせによる平面仕上げの理論的扱い	289
2. 研磨加工における平面形状創成シミュレーション	2.4 異種材料間の加工量差発生の理論解析	291
2.1 研磨量と工具減耗量	あとがき	294
2.2 ポリシングにおける形状創成の理論		
第3節 加工精度	〈河西敏雄〉	296
まえがき	3. 角度研磨加工の基本	299
1. 平面研磨加工の基本	4. 結晶方位面修正研磨加工の基本	300
2. 平行度研磨加工の基本	あとがき	301
第4節 加工変質層	〈土肥俊郎〉	303
まえがき	3.1 加工圧力とOSFの関係	306
1. 加工変質層とその分類	3.2 砥粒径および加工液のpHの影響	306
2. 研磨加工における加工変質層の発生要因 ・対策と無じょう乱研磨法	3.3 加工中の加工剤液膜厚さ（試料の浮上量）とOSF	307
3. 加工条件と加工変質層		
■第3章 各種超精密研磨加工法・装置の基本		
第1節 ラッピング	〈河西敏雄〉	309
まえがき	2. 研磨装置	312
1. ラッピングの特徴と加工要因	3. 切断加工への応用	313
1.1 砥粒	あとがき	313
1.2 ラップ		
第2節 ポリシング	〈土肥俊郎〉	315
1. ポリシングとその基本原理	3.1 超精密光学的ポリシング	318
2. ポリシング装置の基本	3.2 化学的複合ポリシング	318
2.1 ポリシング装置の構成	3.3 コロイド化学的ポリシング	319
2.2 ポリシャ張付け用定盤の管理	3.4 EEMとそれを応用した非接触ポリシング	319
2.3 試料の保持とその方法	3.5 その他のポリシング法	320
2.4 その他		
3. 最近の超精密ポリシング技術とその概要		
第3節 新しい研磨法		
【1】乾式メカノケミカルポリシング	〈安永暢男〉	322
まえがき	3.1 Si単結晶への適用	324
1. メカノケミカルポリシングの加工原理	3.2 セラミックス材料への適用	325
2. 加工特性	3.3 ダイヤモンドへの適用	326
3. メカノケミカルポリシングの実施例	あとがき	327
【2】湿式メカノケミカルポリシング	〈土肥俊郎〉	329
まえがき	1. メカノケミカル現象とその湿式ポリシ	

グへの導入効果	329	4. Si 微粒子を用いた Si 単結晶のメカノケ ミカルポリシング	334
2. 加工メカニズムの概要	330	あとがき	335
3. メカノケミカルポリシング特性	333	<難波 義治>	337
【3】 フロートポリシング		3. 研磨条件	338
まえがき	337	4. 応 用	339
1. 加工装置と方法	337	あとがき	340
2. 対象材料	338	<渡 邊 純二>	342
【4】 非接触研磨		2. フレキシブルディスクを使用した研磨技 術	345
まえがき	342	3. セラミックス薄円板を工具とする切断と 非接触研磨	346
1. 基準工具面に動圧力発生作用をもたせた 研磨技術	342	あとがき	347
1.1 加工装置の原理	342	<今 中 治>	348
1.2 装置特性と加工特性	344	3. 電場援用の研磨法	350
【5】 FFF		3.1 電気泳動現象利用の FFF	350
1. FFF とは	348	3.2 プラズマ利用の FFF	352
2. 磁場援用の研磨法	348	あとがき	353
2.1 磁場による加工圧規制研磨	348	【6】 P-MAC ポリシング (Progressive Mechanical And Chemical Polishing)	
2.2 磁場による作用砥粒数規制研磨	349	<河 西 敏 雄>	354
2.3 磁性流体利用の FFF	350	まえがき	354
【6】 P-MAC ポリシング (Progressive Mechanical And Chemical Polishing)		1. 各種研磨法の加工メカニズムの分析	354
<河 西 敏 雄>	354	1.1 ポリシングにおける鏡面化のメカニ ズム	354
まえがき	354	1.2 研磨加工における材料除去のメカニ ズム	354
1. 各種研磨法の加工メカニズムの分析	354	1.3 ポリシングにおける幾何学的形状精 度	354
1.1 ポリシングにおける鏡面化のメカニ ズム	354	1.4 ポリシングにおける加工物とポリシ ャの関係	355
1.2 研磨加工における材料除去のメカニ ズム	354	1.5 化学研磨加工における研磨量および 加工品質	356
1.3 ポリシングにおける幾何学的形状精 度	354	2. P-MAC ポリシングの基礎実験	356
1.4 ポリシングにおける加工物とポリシ ャの関係	355	2.1 加工能率	357
【7】 磁気研磨		2.2 加工精度	357
<進 村 武 男>	361	2.3 表面粗さ	358
まえがき	361	3. P-MAC ポリシング装置の製作と GaAs ウェーハ加工	358
1. 加工原理	361	あとがき	360
2. 加工特性	362	<進 村 武 男>	361
【8】 ハイドレーションポリシング		3. 平面磁気研磨法とその高能率研磨	363
<今 中 治>	369	4. 非磁性円管内面の磁気研磨法	364
1. 概 説	369	あとがき	366
2. ハイドレーションポリシング法発想の背 景	369	4. 加工特性	370
3. ハイドレーションポリシングの原理	369	4.1 サファイア	370
【9】 超微粒子の電気泳動現象を利用した研削・研磨		4.2 ZnSe 結晶	371
<谷 泰 弘 / 池 野 順 一>	373	5. ノンコンタミネーションポリシング	371
まえがき	373	1.2 砥石の物理特性	374
1. 電気泳動現象を利用した超微粒砥石の作 製および研磨への適用	373	1.3 砥石の加工性能	374
1.1 超微粒砥石の作製法	373	2. 電気泳動現象を利用したチップングフリ ー研削切断法	375

2.1 加工原理	375	あとがき	378
2.2 加工性能	376		
【10】 鑄鉄ボンド砥石による研磨		<大森 整>	379
まえがき	379	4. 加工条件と加工特性	381
1. 原理と特徴	379	4.1 加工の安定性	381
2. 超精密化と装置構成	379	4.2 定圧研削における加工条件	381
2.1 固定砥粒ラッピングの超精密化	379	4.3 サブミクロン砥粒による超精密研削	381
2.2 装置構成	380		
3. 対象部品材料と面粗さ	380	あとがき	382
【11】 電解砥粒複合研磨		<清宮 紘一>	383
まえがき	383	3. 電解砥粒研磨の基本加工特性	385
1. 電解複合加工と電解砥粒研磨	383	3.1 凸部選択除去特性	385
2. 各種の電解砥粒研磨装置	383	3.2 仕上面粗さ	385
2.1 手送り式電解砥粒研磨機	383	3.3 ナイロン不織布による加工特性	386
2.2 X-Y テーブル型自動研磨装置	384	3.4 ウレタン研磨材による加工特性	387
2.3 ライン型連続鏡面研磨装置	384	4. 小径管内面の鏡面加工	387
【12】 液体ボンド砥石を用いた研磨		<谷 泰弘>	390
1. 遊離砥粒の固定化と液体ボンド砥石	390	3. 高密度低結合度ラッピング砥石を用いた	
2. 高密度低結合度ラッピング砥石	391	硬脆材料の研磨	392
第4節 洗浄技術		<角田 光雄>	395
1. 洗浄技術構築のための基本的な事項	395		
2. 種々な洗浄技術	396	4. 評価法	404
3. 汚れの除去メカニズムから見た洗浄剤			
■第4章 超精密研磨加工資材			
第1節 ラップ		<市川浩一郎>	406
まえがき	406	3. ラップ定盤の溝	407
1. ラップ定盤の作用	406	4. ラップ定盤の精度	407
2. 材質	406	5. ラップ定盤の修正	407
第2節 ポリシャおよび研磨剤		<久保直人>	409
まえがき	409	2.3 アルミナ系研磨スラリー (Al ₂ O ₃)	413
1. 現在使用されている研磨布の分類	409		
1.1 発泡構造上の分類	409	3. CMPの対象となる薄膜の化学変化	413
1.2 製造法上の分類	410		
2. 現在使用されている研磨スラリーの分類	412	3.1 酸化膜の化学変化	413
		3.2 メタル膜の化学変化	413
2.1 シリカ系研磨スラリー (SiO ₂)	412	あとがき	414
2.2 セリア系研磨スラリー (CeO ₂)	413		
第3節 接着剤および接着技術		<河西敏雄>	415
まえがき	415	3. 接着技術(接着事例)	417
1. 接着剤と接着方法	415	3.1 水晶発振子基板の薄片化における接	
2. 加熱接着と非加熱接着の比較	416	着	417

3.2 高精度平行平面研磨加工のための加工物の側面接着	417	3.4 プリズムの研磨加工のための接着	418
3.3 オプティカルフラットなどの研磨加工に用いられてきた接着	417	あとがき	418

■第5章 超精密研磨技術の現状と展望

第1節 加工精度	419	〈小倉繁太郎〉	419
まえがき	419	1.2 X線リソグラフィ用光学素子の加工精度	426
1. 軟X線応用分野での加工精度	419	2. 超精密研磨加工の現状の問題点	428
1.1 軟X線顕微鏡での加工精度	419		
第2節 加工品質（表面粗さ、加工変質層）	430	〈河西敏雄〉	430
まえがき	430	3. 研磨剤流体利用の研磨	431
1. 超精密ラッピング、超精密砥石研磨加工	430	4. 反応生成物除去による研磨	431
	430	5. 化学的溶去による研磨	432
2. 光学ポリシング	430	あとがき	432
第3節 周辺技術（自動化および加工中計測）	433	〈小倉繁太郎〉	433
まえがき	433	2. 加工中計測（オンマシン計測）	436
1. 自動化	433		

第5編 超精密マイクロ加工法

■第1章 概要

第1節 歴史的発展の経緯	441	〈増沢隆久〉	441
まえがき	441	4. 半導体素子時代（1960年～）	442
1. 道具時代（太古～）	441	5. MEMS時代（1990年～）	442
2. 芸術品時代（B. C. 1000年～）	441	あとがき	442
3. 精密機械時代（1800年～）	441		
第2節 精密生産技術における位置づけと課題	443	〈増沢隆久〉	443
1. マイクロ加工の必要性	443	3.1 材料技術	444
2. 精密加工とマイクロ加工	443	3.2 測定技術	445
3. 周辺技術	444		

■第2章 レーザビーム加工法の基本

第1節 加工原理	446	〈石川 憲〉	446
1. 発光機構	446	2.2 光共振器，横モード，集光性	448
1.1 光源種類と発光機構	446	2.3 ガウス形分布レーザービームの集光伝播特性	449
1.2 レーザ発振	446	2.4 多重モードの集光	451
2. 加工用レーザーの種類とビーム集光	447	3. 熱加工	451
2.1 発振器	447		

4. 非熱加工	452		
第2節 YAG レーザ加工		<石川 憲> ..	453
1. 穴あけ	453	2. 薄膜加工	456
1.1 レーザ穴あけの特徴	453	2.1 用途	456
1.2 穴あけ用のレーザービーム	453	2.2 加工方法	457
1.3 穴あけ現象	454	3. 加工変質層	458
1.4 集光光学系と加工条件	454	4. マーキング	458
1.5 穴径の制御	456		
第3節 エキシマレーザー加工		<石川 憲> ..	460
1. 微細加工	460	2.4 表面親水性の増加	462
2. 高分子材料の加工	460	3. 加工装置	462
2.1 アブレーション加工	460	3.1 発振器	462
2.2 表面改質	461	3.2 加工装置構成	463
2.3 接着性の向上	462		
第4節 レーザ応用加工		<石川 憲> ..	465
1. レーザアシスト加工	465	1.5 レーザイオン併用	466
1.1 レーザ補助エッチング (LAE) ..	465	2. レーザビームリソグラフィ	466
1.2 MIG, TIG 併用レーザー溶接	465	3. レーザリペア	467
1.3 レーザ補助切削加工	466	3.1 除去加工方法	468
1.4 超音波振動レーザー加工	466	3.2 付加加工方法	469

■第3章 電子ビーム加工法の基本

第1節 加工原理		<宮崎 俊行> ..	471
まえがき	471	2. 化学変化	472
1. 熱の発生	471	3. 電子ビーム加工の種類	472
第2節 穴あけ		<宮崎 俊行> ..	473
まえがき	473	3. 加工能率の向上	474
1. 穴あけ機構	473	4. 形状	475
2. 加工穴品質	474	5. 加工性能	475
第3節 装置構成		<宮崎 俊行> ..	477
1. 装置	477	2. ビーム・加工物の制御	477

■第4章 イオンビーム加工法の基本

第1節 加工原理		<山田 公> ..	479
まえがき	479	1.3 スパッタ	482
1. イオンと固体との相互作用	480	1.4 表面作用	488
1.1 エネルギー伝達	480	あとがき	490
1.2 イオン注入	481		

第2節 イオンビーム装置	<山田 公> ...	492
まえがき		492
1. イオンビーム薄膜形成装置		492
1.1 プラズマ中での薄膜形成装置		492
1.2 真空中での薄膜形成装置		495
2. イオンビーム加工装置		501
2.1 イオンビームエッチング		501
2.2 集束イオンビームエッチング		502
2.3 イオンビーム露光		502
3. イオン注入装置		503
3.1 大電流イオン注入		503
3.2 イオンドーピング		503
3.3 プラズマイマーシヨニオン注入		504
3.4 ガスソースクラスタイオン注入		505
あとがき		506

第3節 集束イオンビーム加工	<塩川 高雄> ...	508
まえがき		508
1. 集束イオンビーム装置		508
2. エッチング		509
2.1 スパッタエッチング		509
2.2 アシストエッチング		512
あとがき		513

第4節 特殊形状加工	<宮本 岩男> ...	516
1. 平滑面の加工		516
1.1 塗布膜を利用した平面の平滑化		516
1.2 X線ミラー用多層膜のイオンビーム平滑化		516
1.3 平面度の修正		517
1.4 ブロックゲージの寸法修正加工		517
2. 非球面および軸の加工		517
2.1 非球面レンズの加工		517
2.2 マイクロウェーブ用リミッタチャー		
クの加工		517
3. 刃先および針先の加工		518
3.1 マイクロピッカース圧子の再研磨		518
3.2 ダイヤモンドバイトの先鋭化		518
3.3 ダイヤモンドナイフの成形		519
3.4 ダイヤモンド触針や探針の成形		519
3.5 走査型トンネル顕微鏡 (STM) 用探針の加工		519

■第5章 その他の粒子ビーム加工法の基本

第1節 高速原子ビーム加工	<桑野 博喜> ...	522
まえがき		522
1. 高速原子ビーム生成の理論的検討		522
1.1 イオンと原子または分子との衝突による電荷交換		523
1.2 イオンが固体壁と衝突するときの電荷交換		523
1.3 イオンと電子の再結合		524
2. 高速原子ビーム源の例		525
3. 高速原子ビームを用いた微細加工		526
3.1 SiO ₂ 基板の微細加工		527
3.2 GaAs 基板のエッチング特性		528
4. 高速原子ビームを用いた複合固体潤滑膜のスパッタ蒸着		531
あとがき		534

第2節 静電加速粒子ビーム加工	<井出 徹> ...	536
まえがき		536
1. 微粒子の静電加速の基礎理論		536
2. 微粒子ビーム加工装置とその特性		537
2.1 装置の構成と動作		537
2.2 帯電・加速特性		537
3. シリコンの表面加工		539
3.1 衝突角による加工現象の推移		540
3.2 除去加工現象		540
あとがき		541

■第6章 化学エッチング法の基本

第1節 エッチングの定義と加工原理	〈佐藤敏一〉	543
1. エッチングの定義		543
2. ケミカルミーリング		543
3. 表面あらしエッチング		544
4. 組織現出エッチング		545
第2節 ウエットエッチング	〈佐藤敏一〉	547
1. ウエットエッチングの電気化学的機構		547
2. ウエットエッチングの基礎化学		548
2.1 酸溶液によるエッチング		548
2.2 アルカリ溶液によるエッチング		548
2.3 中性塩溶液によるエッチング		548
3. 溶解現象の全過程		550
第3節 ドライエッチング技術	〈堀岡啓治〉	552
まえがき		552
1. 等方性エッチング技術		552
1.1 プラズマアッシング装置		552
1.2 ダウンフローエッチング		552
2. 異方性エッチング技術		553
2.1 異方性エッチングの原理		553
2.2 選択性		554
2.3 異方性エッチング装置の変遷		555

■第7章 放電加工法の基本

第1節 加工原理	〈齋藤長男〉	558
1. 加工現象		558
1.1 放電の発生と放電こん		558
1.2 連続放電とその法則		559
2. 加工精度		560
2.1 極間距離の大きさと均一化		560
2.2 電極消耗と加工精度		560
3. 加工変質層		562
3.1 形彫り放電加工による変質層		562
3.2 ワイヤ放電加工による変質層		562
4. 鏡面放電加工の成立条件		563
5. 超精密化条件		564
6. 加工可能な材料		564
第2節 ワイヤ放電加工	〈野田容徳/清原史行〉	566
1. ワイヤ放電加工の多用途化		566
2. 精密加工でのワイヤ電極		566
3. 被加工物による加工上の留意点		566
3.1 超硬材料加工		566
3.2 高抵抗材料加工		566
4. マイクロ加工技術		567
4.1 ワイヤ張力		567
4.2 加工液		568
4.3 電気条件		568
第3節 複合加工(超音波複合, その他)	〈毛利尚武〉	569
1. 複合加工の考え方		569
1.1 複合放電加工の例		569
1.2 電解放電加工		569
2. 超音波複合仕上げ放電加工		569
3. 超音波重畳放電加工の技術的課題とその 解決策		571
3.1 振動周期と振動振幅に対する留意事 項		571
3.2 振動体の支持法と打撃加振法		571

■第8章 STM 加工法の基本

.....	〈梶村皓二〉	573
まえがき		573
1. 機械的塑性変形		573

2. 化学的加工	573	3. 熱による加工	574
2.1 化学結合変化	573	4. 低温での物理吸着	574
2.2 電子ビームアシスト表面化学反応	573	5. 原子の放射	574
2.3 有機金属の電子ビーム CVD	573	5.1 液体金属イオン源	574
2.4 電気化学反応によるエッチングと電着・電析	574	5.2 電界蒸発	575
2.5 清浄表面 Si と水素終端シリコンのエッチング	574	5.3 STM 条件での電界蒸発障壁の低下	575
		あとがき	575

■第9章 超精密マイクロ加工技術の将来展望

第1節 レーザビーム加工法・電子ビーム加工法	〈宮崎 俊行〉	578
まえがき		578
1. レーザビーム加工		578
2. 電子ビーム加工		579
あとがき		579
第2節 イオンビーム加工法・粒子ビーム加工法	〈桑野 博喜〉	580
まえがき		580
1. 他加工法との比較		580
2. 今後の課題		580
第3節 化学エッチング法	〈佐藤 敏一〉	581
第4節 放電加工の将来展望	〈齋藤 長男〉	583
まえがき		583
1. 技術的観点に立脚した展望		583
1.1 形状加工		583
1.2 微細加工および小孔の迅速加工		583
1.3 金属表面の改質技術としての放電加工		583
1.4 導電性および非導電性ファインセラミックスの放電加工		584
2. 社会的ニーズに立脚した展望		584
2.1 成形品の組立て作業を減少させる金型とその構造変化		584
2.2 省エネルギーと内燃機関の構造変化		584
2.3 原子力発電, 化学プラント, 海水プラント等の耐食性の向上		584
あとがき		585
第5節 STM 加工法と将来展望	〈梶村 皓二〉	586
1. 走査型プローブ顕微鏡と原子・分子スケールの加工		586
2. 機械的塑性変形		586
3. 化学的加工		586
3.1 化学結合変化		586
3.2 電子ビームアシスト表面化学反応		586
3.3 有機金属の電子ビーム CVD		586
3.4 電気化学反応によるエッチングと電着・電析		587
3.5 水素終端シリコンのエッチング		587
4. 高密度記録の試み		587
5. 量子効果素子への道		587
6. アトムテクノロジーの世界		588
あとがき		588

第6編 超微細パターン加工法

第1章 概要

第1節 歴史的発展の経緯	.....	<蒲生健次>	593		
1. 電子デバイスの微細化の進展	.....	593	3. パターン転写技術の進展	.....	594
2. リソグラフィプロセスの進展	.....	593			
第2節 超精密生産技術における役割	.....	<蒲生健次>	596		
1. 特徴	.....	596	2. 応用分野	.....	597

第2章 リソグラフィの基本

第1節 原理	.....	<岡崎信次>	599		
1. LSI製造工程の中でのリソグラフィ技術の役割	.....	599	4. レジスト材料	.....	601
2. 解像度と重ね合せ精度	.....	600	5. レジスト処理プロセス	.....	602
3. 各種露光方式の比較	.....	600	6. マスク, レチクル	.....	602
第2節 光リソグラフィ	.....	<中瀬真>	605		
まえがき	.....	605	3. 超解像露光技術	.....	607
1. g/i線リソグラフィ	.....	605	3.1 位相シフトマスク	.....	607
1.1 露光装置	.....	605	3.2 変形照明法	.....	608
1.2 レジスト材料	.....	605	3.3 瞳フィルタ法	.....	608
2. エキシマレーザリソグラフィ	.....	606	4. レジストプロセス	.....	608
2.1 露光装置	.....	606	あとがき	.....	609
2.2 レジスト材料	.....	606			
第3節 電子ビームリソグラフィ	.....	<飯田康夫>	610		
まえがき	.....	610	4. 感度および解像度限界	.....	615
1. 電子ビームリソグラフィ装置概要	.....	610	<電子線の感度限界>	.....	615
2. 電子ビームレジスト	.....	613	5. 今後の課題—ハイブリッドリソグラフィへの対応	.....	616
3. 電子線レジストへの要求性能	.....	613			
第4節 X線リソグラフィ	.....	<吉原秀雄>	617		
まえがき	.....	617	2.2 放射光	.....	619
1. 原理	.....	617	3. ビームライン	.....	620
1.1 幾何学的関係	.....	617	4. X線露光装置	.....	622
1.2 X線波長	.....	617	5. マスク	.....	624
2. X線源	.....	618	あとがき	.....	627
2.1 発散X線源	.....	618			
第5節 イオンビームリソグラフィ	.....	<松井真二>	631		
まえがき	.....	631	1. 液体金属イオン源	.....	631

2. 集束イオンビーム装置	632	3.3 レジストパターン	634
3. 集束イオンビームリソグラフィ	633	3.4 重ね合せ精度	636
3.1 近接効果	633	4. デバイス応用	637
3.2 レジスト感度およびエッチング深さ のエネルギー依存性	634	あとがき	638

■第3章 マイクロマシニングの基本原理

.....		＜羽根一博＞	639
1. マイクロマシニングによる電子要素と機 械要素の集積化	639	3.1 基本プロセス	640
2. 機械構造材としてのシリコン	639	3.2 異方性エッチング	641
3. フォトファブリケーション	640	3.3 犠牲層エッチング	641

■第4章 パターン修正加工法の基本

第1節 加工原理		＜伊藤文和/山口博司＞	643
1. 各種のパターン修正	643	2.1 レーザ加工の原理	644
1.1 マスク修正	643	2.2 FIB加工の原理	644
1.2 メモリLSIのビット救済	643	2.3 レーザ加工とFIB加工の特徴	644
1.3 LSIの不良解析, 論理修正	643	3. FIB加工における加工穴形状制御	645
2. レーザ加工とFIB加工の原理と特徴	643	3.1 加工形状の予測方式	645
		3.2 加工深さ制御	647
第2節 イオンビーム加工 .....		.....	650
まえがき	650	2. ビーム誘起表面反応のモデル	653
1. 集束イオンビーム加工	650	あとがき	655
第3節 レーザビーム加工 .....		.....	657
1. レチクル修正	657	3. 白欠陥の修正	658
2. 黒欠陥の修正	658	あとがき	659

■第5章 超微細加工技術の現状と展望

第1節 リソグラフィの限界		＜蒲生健次＞	660
第2節 転写の限界		＜蒲生健次＞	664
1. 高精度転写の要件	664	3. 信頼性	665
2. 原子層制御エッチング	664	4. 加工損傷	665
第3節 周辺技術 .....		.....	667
1. 電子ビーム計測, 測長	667	3. 走査プローブ顕微鏡法	668
2. イオンビーム計測	667		

第7編 精密変形加工法

■第1章 概要

第1節 変形加工とは	＜中川威雄＞	673
第2節 変形加工の特徴	＜中川威雄＞	674
第3節 精密生産技術における役割	＜中川威雄＞	675

■第2章 塑性加工法

第1節 加工原理	＜神馬 敬 / 石川孝司＞	676	
1. 塑性加工の定義	676	5.2 加工温度の影響	677
2. 塑性変形機構	676	5.3 加工速度の影響	678
3. 変形抵抗	676	5.4 静水圧の影響	678
4. 変形能と加工限界	677	5.5 超塑性	678
5. 変形抵抗と変形能に影響する諸因子	677	6. 塑性加工による材質改善	679
5.1 回復および焼なまし	677		
第2節 打抜き加工	＜青木 勇＞	680	
まえがき	680	4.3 シュービング法	684
1. 加工原理	680	4.4 対向ダイスせん断法	684
2. 加工機構	680	4.5 高速度せん断法	685
2.1 せん断線図と加工工程	680	4.6 上下抜き法	685
2.2 せん断力・せん断抵抗・せん断仕事	681	4.7 簡易化上下抜き法	685
2.3 クリアランス	681	5. 微細精密打抜き	685
3. 製品切り口面の構成および製品寸法	681	6. 高分子材料・複合材料の打抜き	686
4. 精密せん断法	683	7. 最近の微細精密打抜き技術	687
4.1 精密打抜き法	683	7.1 WEDG 応用のマイクロ打抜きシステム	687
4.2 仕上げ抜き法	684	7.2 圧電素子の利用	687
第3節 曲げ加工	＜戸澤康壽＞	689	
1. 曲げ加工の精度に対する影響因子	689	2. 高精度の曲げ成形品を得るための方策	690
1.1 金型および加工機械の工作精度	689	2.1 成形条件の修正	691
1.2 加工荷重による金型および加工機械の弾性変形	689	2.2 均一な素材の使用	691
1.3 加工時における成形品の形状	689	2.3 成形手段の改善	692
1.4 加工荷重除去の際の成形品の弾性戻り	690	3. 精密曲げ加工法	692
第4節 絞り加工	＜桑原利彦＞	696	
まえがき	696	1. 絞り製品の寸法精度および形状精度の向	

上策	696		698
1.1 3次元異形絞り製品の形状精度と寸法精度向上策	696	2. 精密絞り加工のための解析手法	699
1.2 しわ押さえ力ならびにビード張力の精密制御による深絞り製品の形状精度向上策	696	2.1 有限要素法による3次元板成形解析の高精度化と今後の課題	699
1.3 対向液圧成形による形状精度の向上		2.2 歩留りのよい素板形状の計算法	699
		3. 精密な絞り製品の例	700
第5節 トライボロジー			<中村 保> 704
1. トライボロジーの基礎概念	704	2.1 素材表面凹凸の平滑化	706
1.1 工具・素材の接触メカニズム	704	2.2 焼付き表面損傷の抑制	706
1.2 摩擦特性式	704	2.3 工具摩耗の抑制メカニズム	709
1.3 摩擦・潤滑特性	705	3. 超精密表面創成の適用例	709
2. 超精密表面の創成メカニズム	706		
第6節 数値解析技術			<川井 謙一> 713
1. 塑性加工解析の目的	713	3. 有限要素法による塑性加工の解析	714
2. 各種解析法	713	4. 解析手法の選択	715

■第3章 プラスチック成形加工法

第1節 加工原理			<大柳 康> 717
1. プラスチック材料の種類と分類	717	3.6 ブロー成形(吹込成形)加工法	721
2. 成形加工法の種類と特徴	719	3.7 真空成形・圧空成形加工法	721
3. 主な成形加工法概要	720	3.8 その他の成形加工法	721
3.1 圧縮成形と積層成形	720	3.9 最近の成形加工技術動向	721
3.2 トランスファー成形法	720	4. 成形加工技術の基本	725
3.3 押出成形加工法	721	4.1 溶融粘度特性	725
3.4 射出成形加工法	721	4.2 状態変化特性	726
3.5 反応射出成形加工法	721	5. リサイクルについて	726
第2節 樹脂成形シミュレーション			<西村 哲郎> 730
まえがき	730	2.1 数学モデル	732
1. 充てん過程の解析	730	2.2 解 析	733
1.1 数学モデル	730	3. 冷却過程の解析	733
1.2 樹脂の物性値	731	4. 金型の構造設計	733
1.3 離散化	731	4.1 熱設計	733
1.4 解 析	731	4.2 応力設計	733
1.5 解析例	732	5. 樹脂成形のCAEシステム	734
2. 保圧過程の解析	732	あとがき	734

■第4章 特殊変形加工法

第1節 ガラスレンズ成形用の金型加工			<渡辺 正樹 / 北原 良一> 736
まえがき	736	2. 金型の構成	736
1. ガラスレンズ成形用金型材料の特性	736	3. 非球面金型加工技術	737

3.1 非球面形状	737	3.4 金型評価	738
3.2 研削加工	737	あとがき	739
3.3 研磨加工	738		
第2節 セラミックスの射出成形		<正木英之> ..	740
まえがき	740	1.3 混練・ペレタイズ	742
1. 射出成形工程	740	1.4 成形	742
1.1 セラミックス粉末	741	1.5 脱脂	743
1.2 樹脂材料	741	1.6 焼結と焼結体の加工	744
■第5章 精密変形加工技術の現状と展望			
第1節 新しい精密変形加工法の可能性		<中川威雄> ..	746
まえがき	746	3. 粉末冶金	746
1. 鋳造	746	4. セラミックス成形	746
2. 塑性加工	746	5. プラスチック成形	747
第2節 精密変形加工用の型技術		<中川威雄> ..	748
第3節 材料の変形加工性		<中川威雄> ..	749

第8編 精密接合加工法

■第1章 精密接合加工法概要

.....		<志田朝彦> ..	753
まえがき	753	2. 精密接合技術の位置と役割	758
1. 精密接合の歴史的展開	756		

■第2章 溶接

第1節 加工原理		<中村治方> ..	760
1. 接合機構	760	3. 代表的な溶接方法	761
2. 溶接による変質, 変形および残留応力	761	3.1 ティグ溶接	761
		3.2 プラズマ溶接	762
第2節 レーザ溶接		<木村盛一郎> ..	764
まえがき	764	.....	767
1. 炭酸ガスレーザーによる溶接機構	764	2.5 継手形状	768
2. レーザ溶接要因と溶接特性	764	3. 炭酸ガスレーザーによる各種材料溶接例	770
2.1 反射および吸収	765	.....	770
2.2 モードと溶込み特性	765	3.1 アルミ合金の溶接例	770
2.3 焦点位置と溶込み特性	766	3.2 無酸素銅の溶接	770
2.4 照射パワーおよび送り速度の影響		3.3 チタン合金の溶接例	771

第3節 電子ビーム溶接	<入江宏定> ...	773
まえがき		773
1. 電子ビーム溶接の原理と特徴		773
1.1 電子ビームのマイクロ加工特性 ...		773
1.2 電子ビームによる加熱溶融過程 ...		773
1.3 電子ビームによる溶接機構		774
1.4 電子ビームによる溶接の諸特性 ...		774
2. 電子ビーム溶接装置		776
3. 電子ビーム溶接の応用		777
あとがき		778

■第3章 ろう接

第1節 加工原理	<恩澤忠男> ...	779
1. 原理と特徴		779
2. むれの概念		779
3. むれ試験法		780
4. ろうの特性		780
4.1 むれ性		780
4.2 融点		781
5. 各種ろうとその特徴		781
5.1 銅ろう		781
5.2 黄銅ろう		781
5.3 銀ろう		781
5.4 リン銅ろう		781
5.5 金ろう		781
5.6 ニッケルろう		782
5.7 アルミニウムろう		782
6. フラックスおよびろう付雰囲気		782
7. ろう付継手の強度		782
8. ろう付方法とその選び方		783

第2節 メタライジングとろう付

.....	<五代儀靖/安本恭章/岩瀬暢男/中橋昌子> ...	784
まえがき		784
1. セラミックスへのメタライズ技術		784
2. ろう付		785
2.1 常圧ろう付方法		785
2.2 ろう付用ジグ		785
3. セラミックスへのろう付技術		786
3.1 活性金属法		786
3.2 薄膜金属法		788
あとがき		789

第3節 マイクロソルダリング

.....	<恩澤忠男> ...	791
まえがき		791
1. はんだ(ソルダ)		791
1.1 Sn-Pb はんだ		791
1.2 Sn基はんだ, Pb基はんだ		791
1.3 その他のはんだ		792
2. フラックス		793
3. ソルダペースト		793
4. マイクロソルダリング技術の表面実装上の主要な問題		795

■第4章 固相接合

第1節 加工原理	<須賀唯知> ...	796
1. 固相接合の条件		796
2. 常温圧接		796
第2節 超音波接合	<辻野次郎丸> ...	800
まえがき		800
1. 金属材料等の超音波溶接について		800
1.1 金属材料の溶接方法		800
1.2 溶接部の特性		802
1.3 上下駆動式超音波溶接		803
1.4 突合せ超音波溶接		804
2. 超音波ワイヤボンディングについて ...		807
2.1 溶接方法		807
2.2 複合振動を用いたワイヤボンディング		807

3. 超音波プラスチック溶接について	809	810
3.1 直接超音波プラスチック溶接	810	3.4 溶接チップ対を用いたプラスチック超音波溶接
3.2 伝達超音波プラスチック溶接	810	811
3.3 上下駆動式プラスチック超音波溶接		あとがき
		811
第3節 拡散接合		<大橋 修>
まえがき	813	3. 今後の展開
1. 固相拡散接合	813	3.1 変形度から接合部の欠陥量をモニタリング
1.1 接合の原理	813	816
1.2 接合部の面積の増加過程	813	3.2 合金元素による接合性の改善
1.3 接合界面での表面皮膜の挙動	814	817
1.4 接合部の空隙内のガス	815	3.3 拡散接合と他分野の技術の複合化
2. 液相拡散接合	815	817
		3.4 拡散接合とHIPとの複合化
		817
■第5章 接 着		
第1節 加工原理		<中尾 一宗>
まえがき	819	3. 界面の結合
1. 接着強度	819	3.1 マクロな結合（アンカー効果）
1.1 接着と破壊	819	830
1.2 破壊の場所	819	3.2 ミクロな結合（分子レベルの結合）
1.3 WBL（weak boundary layer, 界面の弱い層）	820	831
1.4 接着強度を支配する主な因子	821	3.3 界面の結合力の寄与
1.5 接着強度間の相互現象	821	831
1.6 接着剤の力学的性質と各種の接着強度との関係	822	4. 表面処理
1.7 温度による接着強度の変化	824	4.1 一般的な軽い表面処理
1.8 接着強度の温度-速度換算	826	831
1.9 はく離強度のカタストロフィ的低下	828	4.2 構造接着や、耐水性、耐湿性が要求される場合
2. ぬれと接着	828	832
2.1 熱力学平衡論によるぬれと接着	828	4.3 プライマー処理
2.2 速度論	829	832
2.3 非平衡の熱力学、動的接触角	830	5. 耐水性、耐湿性
		833
		6. 金属構造用接着剤
		6.1 構造用接着剤と非構造用接着剤
		836
		6.2 航空宇宙用構造接着剤の種類と性能
		836
		6.3 自動車用構造接着剤
		837
		6.4 エレクトロニクス
		837
		6.5 その他の機械金属工業
		838
第2節 UV 接着		<村田 則夫>
まえがき	841	2. UV 接着による精密固定技術
1. UV 接着剤	841	2.1 精密接着剤の組成
1.1 UV 接着技術の概要	841	844
1.2 UV 接着剤の成分	841	2.2 精密接着剤の特性
1.3 UV 硬化機構	842	844
1.4 UV 照射装置	843	2.3 精密接着剤の適用例
		845
		あとがき
		846
第3節 溶着（光ファイバの接合）		<松本三千人>
1. 光ファイバ	848	2. 光ファイバ接続損失要因
		848

24 目次

3. 光ファイバの軸合せ方法	848	4.1 光ファイバの切断	850
3.1 固定V溝方式	848	4.2 加熱融着	851
3.2 可動V溝方式	850	5. 融着接続部の強度	852
4. 光ファイバの融着接続	850		

■第6章 特殊接合

第1節 密着（リングング）		＜加藤 敬＞	854
まえがき	854	1.4 その他	855
1. 接合機構	854	2. 密着力	855
1.1 固体間に働く凝着力	854	3. 密着層の寸法精度	856
1.2 液体膜の凝集力と粘性	854	あとがき	857
1.3 固体と液体の分子の吸着力	855		
第2節 常温接合		＜須賀 唯知＞	858
1. 常温接合の原理	858	3. 表面活性化法 SAB の展開	860
2. 表面活性化 SAB による常温接合	858	4. マイクロアセンブリと常温接合	861

■第7章 精密接合加工技術の現状と展望

第1節 精密微細接合技術の現状		＜高橋 康夫＞	863
まえがき	863	細接合	863
1. エレクトロニクス産業における精密微			
第2節 各種マイクロ接合法と接合精度		＜高橋 康夫＞	870
1. 接合機構の分類	870	2.1 ダイボンディング	871
1.1 融接機構	870	2.2 ワイヤボンディング	871
1.2 液相固相接合機構	870	2.3 ワイヤレスボンディング	873
1.3 固相接合機構	871	3. プリント配線板における精密微細接合と	
1.4 接着機構	871	その精度	876
2. LSI 組立て実装工程におけるマイクロ精		4. その他の精密接合法	876
密接合とその精度	871	5. 超精密微細化接合の問題点と対策	877
第3節 最先端エレクトロニクス実装工法の開発状況と今後の展望		＜日下 輝雄＞	879
1. LSI パッケージの開発状況	879	2.2 ワイヤボンディング (WB)	881
1.1 メモリ用パッケージ	879	2.3 TAB (Tape Automated Bonding)	
1.2 マイクロプロセッサ用パッケージ			881
.....	879	2.4 各種バンブ	882
1.3 ASIC 用パッケージ	880	3. 今後の展望	882
1.4 カード用パッケージ (軽薄短小型パ		3.1 実装階層レベル 1.5	882
ッケージ)	880	3.2 M C M	882
2. 接続技術の現状	881	3.3 ULSI 時代の半導体実装技術	883
2.1 チップ接続	881	あとがき	883

第9編 精密付加・付着加工法

第1章 精密付加・付着加工法概要

.....	<戸倉 和>	887
1. 発展の経緯および超精密生産技術における役割		887

第2章 蒸着法 (deposition)

第1節 加工原理	<長井一敏>	890	
1. 蒸着法の分類	890	3. サブストレイト上の蒸着分子	892
2. 蒸着母材の蒸発	890	4. 抵抗加熱蒸着の特徴	893
第2節 電子ビーム蒸着	<板橋聖一>	894	
まえがき	894	3. Pt 蒸着膜の表面形態	896
1. X線ミラー	894	4. Pt 蒸着膜のX線反射率と表面粗さ	897
2. 電子ビーム蒸着法	895	5. 多層膜	897
第3節 イオンビーム蒸着	<清水三郎>	899	
まえがき	899	3. イオンビーム蒸着による薄膜作製	902
1. イオンビームの照射効果	899	あとがき	903
2. イオンビーム蒸着装置	900		
第4節 レーザ蒸着	<長井一敏>	905	
まえがき	905	2. レーザ蒸着に用いる光学材料	907
1. レーザの種類	905	2.1 入射窓材料	907
1.1 連続発振レーザによる蒸着	905	2.2 反射鏡材料	907
1.2 パルスレーザによる蒸着	906	3. レーザ蒸着の例	909
第5節 分子線蒸着	<徳光永輔/高橋 清>	911	
まえがき	911	3. 原子層エピタキシー (ALE)	913
1. 分子線エピタキシー装置	911	4. ガスソース MBE	914
2. 分子線エピタキシーによるデバイス, 超格子素子	912	あとがき	915

第3章 イオンプレーティング

第1節 イオンプレーティングの背景と意義	<村山洋一>	916	
まえがき	916	4.1 プラズマおよびイオンの基板に及ぼす影響	919
1. プラズマと気体放電	916	4.2 プラズマおよびイオンの膜に及ぼす影響	919
2. 高周波励起プラズマ	918	4.3 放電ガス圧の膜に対する影響	919
3. イオンプレーティングにおけるプラズマおよびイオンの効果	918		
4. イオンプレーティングの効果	919		

第2節 直流励起イオンプレーティング法 (D. C. 法)	.....	<村山 洋一>	921
第3節 高周波励起イオンプレーティング法 (R. F. 法)	.....	<村山 洋一>	922
第4節 反応性イオンプレーティング法	.....	<村山 洋一>	923
まえがき	923	3. 窒化膜	924
1. 酸化物	923	4. その他のイオンプレーティング法	924
2. 炭化膜	923		
第5節 クラスタイオンビーム技術	.....	<山田 公>	925
まえがき	925	2.2 単結晶金属およびセラミックス上の セラミックス薄膜のエピタキシャル 成長	928
1. 薄膜形成におけるクラスタビームの照射 効果	925	3. ガスクラスタイオンビームの生成とその 特性	928
2. 大きな格子不整をもつ基板上的エピタキ シー	926	あとがき	930
2.1 半導体基板上的の金属薄膜形成	926		
■第4章 スパッタリング			
第1節 スパッタリング現象の基礎	.....	<金原 繁>	931
まえがき	931	3. スパッタリング現象の特徴	933
1. 固体表面と高速 (高エネルギー) 粒子と の相互作用	931	4. 化学スパッタリングと反応性スパッタ リング	934
2. 実際のスパッタリングの発生	932		
第2節 グロー放電スパッタ	.....	<細川直吉>	936
1. 膜付着速度の一般的表示式と各種スパッ タ方式の分類	936	4.1 RF 電極自己バイアスと RF 電極入 射イオンエネルギー	939
2. グロー放電と直流 2 極スパッタ方式	936	4.2 高周波 2 極スパッタの実用的意味	940
2.1 グロー放電の維持	937	4.3 放電負荷に対するインピーダンス整 合とパワー制御	940
2.2 正常グロー放電と異常グロー放電	937	5. プラズマスパッタ	941
2.3 バッシェンの法則	937	6. スパッタ装置における放電制御のための 磁界の利用	942
2.4 陰極衝撃陽イオンエネルギー分布	938	7. 特殊な技巧	942
2.5 ダークスペースの厚みとターゲット 衝撃イオン電流密度	938	7.1 バイアススパッタ	942
3. 交流 2 極スパッタと非対称交流 2 極スパ ッタ	939	7.2 リアクティブスパッタ	942
4. 高周波 (RF) 2 極スパッタ	939	7.3 ゲッタスパッタ	943
第3節 マグネトロンスパッタ	.....	<藤井定美>	946
まえがき	946	3. 各種スパッタ電極	948
1. 基本的原理	946	4. スパッタによる成膜の例	949
2. スパッタ装置の種類	948		

第4節	ビーム衝撃型スパッタ	＜直江正彦/中川茂樹＞	952
1.	イオンビームスパッタ法の位置づけ		952
2.	イオンビームスパッタ用イオン源		952
3.	イオンビームスパッタ装置		954
4.	イオンビーム堆積法		955
5.	ECR スパッタ技術		956

■第5章 化学気相成長法 (CVD)

第1節	加工原理	＜前田和夫＞	959
1.	CVD 法の基本概念		959
2.	CVD 反応の型式		960
2.1	反応型式の分類		960
2.2	熱分解反応		960
2.3	水素還元反応		960
2.4	基板による還元反応		961
2.5	化学輸送反応		961
2.6	酸化反応		962
2.7	加水分解反応		962
2.8	アンモニアとの反応		962
2.9	プラズマ励起反応		962
2.10	光励起反応		962
2.11	新化合物の合成		962
3.	CVD 反応の過程		963
4.	CVD 膜形成反応の制御		963
第2節	プラズマ CVD 法	＜吉田 明＞	965
まえがき			965
1.	グロー放電プラズマと薄膜成長		965
2.	プラズマ CVD 装置		965
2.1	プラズマ発生		965
2.2	高周波プラズマ装置		966
2.3	マイクロ波プラズマ装置		966
2.4	リモートプラズマ装置		966
2.5	真空排気系ガス供給・処理		966
2.6	プラズマ診断		967
2.7	プラズマ CVD の応用		967
あとがき			967
第3節	放射光励起 CVD 法	＜内海裕一＞	968
1.	反応励起源としての放射光の特徴		968
2.	放射光励起 Si エピタキシャル成長		968
2.1	装置構成		969
2.2	成長速度の温度依存性		969
2.3	表面励起反応と気相励起反応		970
2.4	エピタキシャル成長温度の低温化		970
2.5	選択成長		971
2.6	原子層成長技術への応用		972
3.	絶縁膜, 金属膜の CVD		972

■第6章 精密めっき

第1節	概要と加工原理	＜藤井定美＞	975
まえがき			975
1.	めっきの目的		975
1.1	装飾		975
1.2	防錆		975
1.3	耐摩耗性		975
1.4	機械的特性		975
1.5	電気的特性		976
1.6	磁気特性		976
1.7	光学的特性		976
1.8	熱的特性		976
1.9	物理的特性		976
1.10	耐薬品性		977
2.	めっき法の分類		977
2.1	電気めっき		977
2.2	無電解めっき		977
2.3	複合めっき		978
2.4	熔融めっき		978
2.5	浸透めっき		978
2.6	真空蒸着		978
2.7	イオンプレーティング		979
2.8	スパッタリング		979
2.9	C V D		979

2.10 プラズマ溶射	980	4. 乾式めっきの特色	980
3. 電気化学的めっきの特色	980	あとがき	980
第2節 電解めっき		<島宗孝之>	981
まえがき	981	1.3 化学銅めっき	981
1. スルーホールめっき	981	1.4 電解銅めっき	982
1.1 前処理	981	2. ディスクめっき	985
1.2 アクチベーション	981	あとがき	986
第3節 電 鑄		<藤井定美>	987
まえがき	987	3. 基材の表面処理	989
1. エレクトロフォーミングの位置づけ	987	4. 電鑄浴と電鑄物の性質	989
2. エレクトロフォーミングの工程	987	5. エレクトロフォーミングの加工精度	989
第4節 無電解めっき		<伊藤英彌>	992
まえがき	992	6. 不導体上のめっき	998
1. 無電解めっきの特徴	992	6.1 プラスチック上のめっき	998
2. 無電解めっきの種類	992	6.2 セラミックス上のめっき	998
3. 工業的に多く利用されている種類	992	7. 複合めっき	999
3.1 ニッケル-リンめっき	992	7.1 Ni-P+SiCめっき	1000
3.2 ニッケル-ホウ素めっき	993	7.2 Ni-P+PTFE(フッ素樹脂)めっき	1000
4. 磁性めっき	996		
5. プリント配線基板のめっき	997		

■第7章 その他の精密付加・付着加工

.....		<村川正夫>	1004
まえがき	1004	1.4 線爆溶射	1005
1. 溶射の概要	1004	1.5 アーク溶射	1005
1.1 プラズマ溶射	1004	2. 溶射材料とその皮膜特性	1006
1.2 フレーム溶射	1005	3. 溶射皮膜の後処理	1006
1.3 爆発溶射	1005	あとがき	1007

■第8章 精密付加・付着加工技術の現状と展望

.....		<戸倉和>	1008
-------	--	--------------------------	------

第10編 精密変質加工法

■第1章 概 要

第1節 歴史的発展の経緯		<岡田勝蔵>	1013
1. 歴史	1013	2. 精密加工としての発展	1014

第2節 超精密生産技術における役割	＜岡田勝蔵＞	1016
1. 位置づけ		1016
2. 対象部分, 材料, 必要性		1016

■第2章 表面変質法

第1節 加工原理	＜岡田勝蔵＞	1018
まえがき		1018
1. 熱・物理的変質法		1018
2. 熱・化学的変質法		1019

第2節 焼入れ	＜岡田勝蔵＞	1020
まえがき		1020
1. 高周波焼入れ		1020
2. 炎焼入れ		1021
3. レーザビーム焼入れ		1022
4. 電子ビーム焼入れ		1022

第3節 浸炭・窒化	＜岡田勝蔵＞	1024
まえがき		1024
1. イオン窒化法		1024
2. 軟窒化法		1025
2.1 塩浴軟窒化法		1025
2.2 ガス軟窒化法		1025
3. ガス浸炭窒化法		1025
4. ガス浸炭法		1025
5. 固体浸炭法		1025
6. 液体浸炭法		1027

■第3章 陽極酸化

第1節 加工原理 (アルミニウム陽極酸化皮膜の形態と構造)	＜和田健二＞	1028
まえがき		1028
1. 多孔質皮膜の生成, 形態および組成		1028
1.1 皮膜生成		1028
1.2 形態		1029
1.3 皮膜の化学組成		1031
2. 皮膜の構造		1031
3. 膜厚と硬さの制御		1031
3.1 膜厚制御		1031
3.2 硬さの制御		1032

第2節 湿式法 (化成皮膜処理, 陽極酸化皮膜処理)	＜岡村康弘＞	1034
1. 概要		1034
2. 各種湿式処理法とその皮膜特性		1034
2.1 鉄鋼		1034
2.2 アルミニウム合金		1035
2.3 マグネシウム合金		1039
2.4 チタニウム合金		1039
2.5 めっき皮膜上の化成皮膜処理		1039

第3節 乾式法 (半導体)	＜新井夫差子＞	1041
まえがき		1041
1. プラズマ陽極酸化特性および酸化機構		1041
2. 酸化膜および界面の特性		1044
3. 基板への影響		1044
4. デバイスへの応用		1045
4.1 Si に対する選択酸化		1045
4.2 MOSFET (電界効果トランジスタ)		1045
ゲート酸化膜への応用		1045
4.3 MOSFET の試作		1045
4.4 SOS 基板上への MOSFET の作製		1046
4.5 中性子照射した半導体基板を用いた FET への応用		1046
4.6 化合物半導体に対する応用		1046
あとがき		1047

■第4章 イオン注入法

第1節 加工原理	.....	<高井裕司>	1049
まえがき	1049	2.1 イオンビームミキシング	1052
1. イオンの分布と注入に伴う諸現象	1049	2.2 イオンビームミキシングのモデル	1053
1.1 注入イオンの分布	1049	2.3 多層金属膜のイオンビームミキシング	1053
1.2 チャネリング効果の影響	1050	2.4 イオンビームシンセシス	1053
1.3 スパッタリング	1051	2.5 ダイナミックミキシング	1054
1.4 不純物ガス原子・分子の導入	1051		
1.5 損傷の発生	1051		
2. イオンビームによる表面改質	1052		
第2節 イオン注入装置	.....	<桜田勇蔵/美原康雄>	1055
1. イオン注入装置の構成	1055	5. 集束系	1060
2. イオン源	1055	6. 走査系	1060
3. 質量分析系	1057	7. 試料室	1061
4. 加速系	1059	8. イオン光学系の計算例	1062
第3節 イオン注入の適用例	.....	<平尾 孝>	1064
まえがき	1064	4. 化合物半導体へのイオン注入	1067
1. ゲッタリング技術	1064	5. 金属材料の表面改質への応用	1067
2. イオン注入による結晶性改良	1064	6. その他の材料の表面改質への応用	1068
3. Si半導体へのイオン注入	1066		

■第5章 精密変質加工技術の現状と展望

第1節 加工精度（変質深さ）	.....	<岡田勝蔵>	1070
まえがき	1070	2. 変質層深さの減少	1070
1. 変質層深さの増加	1070		
第2節 加工品質（変質層）	.....	<岡田勝蔵>	1072
第3節 周辺技術（表面変質の測定技術）	.....	<岡田勝蔵>	1073
まえがき	1073	2. オージェ電子分光法（AES）、X線電子	
1. 走査型原子間力顕微鏡（AFM）	1073	分光法（XPS）における深さ分析	1074