

平成4年度
マイクロマシン用材料に関する
共同研究報告書

平成5年3月

工業技術院 機械技術研究所
(財)マイクロマシンセンター

目 次

1. はじめに	龍江義孝主査	1
2. アクチュエータ用材料		3
2. 1 静電型	前田龍太郎	5
2. 2 電磁型	三菱電機 (株)	7
2. 3 形状記憶型	高木秀樹	10
2. 4 電歪, 圧電	(株) 村田製作所	14
2. 5 光歪	三菱電線工業 (株)	15
2. 6 有機材料	中野 禪	18
2. 7 超音波モータ	オリンパス光学工業 (株)	24
2. 8 流体膨張型	(株) アイシン・コスモス研究所	28
2. 9 超磁歪	川崎重工業 (株)	29
2. 10 水素吸蔵型	清水 透	38
3. センサ用材料		41
3. 1 シリコン系	三菱重工業 (株)	42
3. 2 セラミックス系	(株) 村田製作所	46
3. 3 金属系	小川博文	49
3. 4 有機系・バイオ系	セイコー電子工業 (株)	52
4. エネルギー用材料		57
4. 1 電池	(株) アイシン・コスモス研究所	58
4. 2 マイクロ波送電	日本電装 (株)	62
4. 3 太陽電池	三洋電機 (株)	69
5. 評価		74
5. 1 力学評価	小川博文	75
5. 2 腐食, 生体適合性	岡崎義光	78
5. 3 薄膜評価 (表面、力学)	高木秀樹	102
6. 加工と材料		105
6. 1 塑性加工	清水 透	106
6. 2 射出成形	オリンパス光学工業 (株)	111
6. 3 LIGA	前田龍太郎	113
6. 4 イオン加工	中野 禪	114
6. 5 成膜プロセス	菊地 薫	120
6. 6 電気化学的加工	セイコー電子工業 (株)	122
7. おわりに	前田龍太郎、北原時雄	127

平成5年度
マイクロマシン用材料に関する
共同研究報告書

平成6年3月

工業技術院 機械技術研究所
(財)マイクロマシンセンター

目 次

1. 本年度の研究の概要	1
2. 検討すべき実験結果提案	3
資料2-1 アンケート調査票	4
資料2-2 マイクロマシン材料に関する研究アンケート結果について	6
3. 講演、文献紹介のまとめ	49
3-1. 特別講演のまとめ	49
3-2. 文献紹介のまとめ	53
資料3-1 強誘電材料の厚膜形成技術	55
資料3-2 エレクトロニックセラミックスのマイクロデバイスへの応用	59
資料3-3 ガラスおよびダイヤモンドライクカーボン(DLC)薄膜のレーザー加工	75
4. 微小機械材料のフィジビリティースタディー	88
資料4-1 生体内模擬環境下で生成する不動態皮膚内の状態分析	90
資料4-2 Development of Penalty Method Contact Algorithm for Rigid-plastic FEM	118
資料4-3 金属薄膜材料の引張試験	124
資料4-4 微小材料用引張試験装置の試作と予備実験	127
資料4-5 微小三点曲げ試験によるヤング率測定	128
5. まとめ	131

平成6年度
マイクロマシン用材料に関する
共同研究報告書

平成7年3月

工業技術院 機械技術研究所
(財)マイクロマシンセンター

目次

1. 平成6年度の研究の概要	1
2. 特別講演・文献調査等のまとめ	3
2. 1 特別講演のまとめ及び考察	3
2. 2 文献紹介	4
2. 3 マイクロマシン用材料技術の研究トレンド	4
3. 微小機械材料のフィージビリティースタディー	10
3. 1 耐環境性向上のための研究	10
3. 2 微小機能要素材料における力学的スケール効果	10
3. 3 微小機能要素材料の材料工学的手法による製作法	10
4. まとめ及び今後の展開	11
資料1 Superplastic Micro-Forming of Microstructure	13
資料2 超音波顕微鏡による材料表層の評価	19
資料3 超音波顕微鏡技術の最近の話題 - 分解能と測定環境に関して -	24
資料4 日本の伝熱研究とマイクロマシン	34
資料5 生体合金の疑似体液中での耐食性と不動態皮膜中の合金元素の役割	47
資料6 微小寸法材料の引張試験法	55
資料7 微小硬度計を用いたMeVイオン注入層の弾性評価	64
資料8 プラズマCVDで生成したダイヤモンド状カーボン皮膜の同定のための 微細加工	69
資料9 MIM用コンパウンドの成形とその脱脂性, 焼結性への影響	70
資料10 An Application of a Penalty Method Contact and Friction Algorithm to a 3-Dimensional Tool Surface Expressed by a B-Spline Patch	73

平成10年度
マイクロマシン用材料に関する
共同研究報告書

平成11年3月

工業技術院 機械技術研究所
(財) マイクロマシンセンター

目 次

1.	本年度研究の概要	1
2.	調査、報告、技術講演	3
	(マイクロマシン用材料に関する共同研究会から)	
2-1.	第16回マイクロマシン用材料に関する共同研究会	3
(1)	「人間及び環境が発生するエネルギーとその検知材料」	3
(2)	「液体粘性の温度依存性に基づくマイクロポンプ」	12
(3)	「スマート MEMS のためのゾルーゲル法による P Z T 積層膜の作 製と評価」	19
(4)	特別講演 「高分子強誘電体及び圧電体材料とその応用」	27
2-2.	第17回マイクロマシン用材料に関する共同研究会	45
(1)	「シリコンと機能材料の常温接合」	45
(2)	「ジェットプリンティングによる機能材料の成膜」	57
(3)	特別講演 「高分子導電性材料の機能とマイクロデバイス」	64

平成11, 12年度
マイクロマシン用材料に関する
共同研究報告書

平成13年3月

産業技術総合研究所 機械技術研究所
財団法人 マイクロマシンセンター

目 次

1. 平成 11,12 年度の研究の概要	1
2. 研究報告、特別講演	
2. 1 第 18 回「マイクロマシン用材料に関する研究」の共同研究会	3
(1) ゾル-ゲル PZT の優先成長方位に及ぼす熱処理の影響	3
(2) PZT 薄膜によるマイクロスキニングミラーの開発	20
(3) マイクロミキサの開発	28
(4) PDMS によるマイクロバルブの製作	44
(5) 特別講演「マイクロメカニカル光スイッチ」	62
(6) MRS 会議報告	76
2. 2 第 19 回「マイクロマシン用材料に関する研究」の共同研究会	97
(1) ゾル-ゲル法によるバイモルフ PZT を利用した微小スキャナーの開発	97
(2) ガスデポジション法によるセラミックス厚膜の高速形成	110
(3) 圧電性 PZT 系素子の作成と応用	119
(4) 特別講演「Introduction to Micromechatronics-General overview of piezoelectric actuators」	122
2. 3 第 20 回「マイクロマシン用材料に関する研究」の共同研究会	156
(1) 小型ロボット用人工筋肉の研究	156
(2) 薄膜圧電材料の応用	165
(3) アクチュエータ用光相転移材料	171
(4) 特別講演「巨大機能物性セラミックス」	181
(5) 特別講演「今後のマイクロマシンと 3 次元微細加工・材料」	191

平成 1 5 年度
新機能性材料の NEMS への展開
報告書

平成 1 6 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
財団法人 マイクロマシンセンター

「新機能性材料の NEMS への展開に関する調査研究事業報告書」

目 次

序	
序	
事業運営組織	
目 次	
総 論	i ~ v
本 編	
はじめに	1
第1章 調査研究の概要	2
1. 1 調査研究の目的	2
1. 2 調査研究の体制	2
1. 3 調査研究の内容	3
1. 4 実施結果	4
1. 4. 1 次世代 MEMS/NEMS に期待される新機能性材料	4
1. 4. 2 次世代 MEMS/NEMS に期待される新機能性材料の加工	7
1. 4. 3 新機能性材料を必要とする MEMS/NEMS の応用	8
1. 4. 4 新機能性材料の NEMS への展開を促進するための提言	11
第2章 次世代 MEMS/NEMS に期待される新機能性材料の調査研究	13
2. 1 まえがき	13
2. 2 カーボンナノチューブ	14
2. 3 フラーレン	18
2. 4 ナノメタル	21
2. 5 ナノセラミックス	25
2. 6 ナノガラス	28
2. 7 ナノ粒子 (ナノクラスター)	30
2. 8 フォトニック結晶	33
2. 9 ナノポア材料	37
2. 10 生体高分子	40
2. 11 強誘電体	47
2. 12 low-k 材料	50
2. 13 スピントロニクス材料	52
2. 14 導電性ポリマー	56
2. 15 超塑性材料	60
2. 16 圧電材料	63
2. 17 超磁歪材料	66
2. 18 形状記憶合金	69
2. 19 自己組織化膜	72
2. 20 まとめ	77
第3章 次世代 MEMS/NEMS に期待される新機能性材料の加工に関する調査研究	80
3. 1 まえがき	80
3. 2 リソグラフィ技術	81
3. 2. 1 フォトリソグラフィ技術	81
3. 2. 1. 1 EUV リソグラフィ	81

3. 2. 1. 2	EBリソグラフィ	82
3. 2. 1. 3	X線フォトリソグラフィ	83
3. 2. 2	プローブナノリソグラフィ技術	84
3. 2. 2. 1	プローブ陽極酸化加工	84
3. 2. 2. 2	ディップペンナノリソグラフィ	86
3. 2. 3	ナノインプリンティング技術	87
3. 2. 3. 1	ナノインプリント	87
3. 2. 3. 2	ソフトリソグラフィ	88
3. 2. 3. 3	LISA(Lithographically induced self-assembly)	89
3. 3	エッチング技術	93
3. 3. 1	ビーム加工	93
3. 3. 2	プラズマ加工	96
3. 4	堆積技術	100
3. 4. 1	気相成膜法	100
3. 4. 2	液相法	102
3. 4. 3	特殊堆積技術	104
3. 5	研磨・切削・メッキ・乾燥・接合加工技術	107
3. 5. 1	研磨・切削加工技術	107
3. 5. 1. 1	EEM(Elastic Emission Machining)法	107
3. 5. 1. 2	超純水電気化学的加工法	108
3. 5. 1. 3	プラズマ CVM(Chemical Vaporization Machining)法	109
3. 5. 1. 4	原子間力顕微鏡(AFM)機構を利用した極微小切削加工法	109
3. 5. 2	メッキ・乾燥・接合加工技術	111
3. 5. 2. 1	無電解メッキ法	111
3. 5. 2. 2	超臨界乾燥法	112
3. 5. 2. 3	表面活性化接合(Surface Activated Bonding:SAB)法	113
3. 6	バイオ・化学を応用した加工技術	115
3. 6. 1	DNA・セルフアセンブル分子を利用した加工	115
3. 6. 2	DNA・蛋白チップアレイの作製技術	117
3. 6. 3	バイオミメティック構造の作製	119
3. 7	ナノ細線・ナノチューブの加工技術	122
3. 7. 1	ナノチューブ・ナノ細線の作製方法	122
3. 7. 1. 1	カーボンナノチューブ(Carbon Nanotubes,CNTs)の合成	122
3. 7. 1. 2	CNTs の径の制御	123
3. 7. 1. 3	CNTs 以外のナノチューブの合成	123
3. 7. 1. 4	ナノワイヤの作製方法	124
3. 7. 2	機能性を発現するための加工方法	125
3. 7. 2. 1	CNTs の配向	125
3. 7. 2. 2	CNTs の分離	125
3. 7. 2. 3	ピーポッドの作製	125
3. 7. 2. 4	CNTs の磁気特性加工	126
3. 7. 2. 5	CNTs の化学修飾	126
3. 7. 3	ナノデバイス・ナノ電気機械に応用するための加工	126
3. 7. 3. 1	半導体ナノワイヤ超格子	127
3. 7. 3. 2	CNTs の接合構造形成	127
3. 7. 3. 3	CNTs プローブの作製	127
3. 8	まとめ	130
第4章 新機能性材料を必要とする MEMS/NEMS 応用に関する調査研究		131
4. 1	まえがき	131

4. 2	実用化段階にある MEMS における材料応用技術	132
4. 2. 1	光 MEMS	132
4. 2. 2	RF-MEMS	136
4. 2. 3	圧力センサ	138
4. 2. 4	加速度センサ	141
4. 2. 5	ジャイロ	143
4. 2. 6	流量センサ	145
4. 3	研究開発段階にある MEMS/NEMS における材料応用技術	147
4. 3. 1	フォトリソグラフィと NEMS の融合	147
4. 3. 2	カーボンナノチューブ応用デバイス	150
4. 3. 3	ナノ粒子応用	162
4. 3. 4	生体材料利用デバイス	170
4. 3. 5	ナノ共振器の高周波デバイス応用	176
4. 3. 6	スキャニングプローブのデータストレージ応用	179
4. 3. 7	センサーネットワーク	182
4. 3. 8	バイオ MEMS	185
4. 3. 9	マイクロリアクタ	191
4. 4	MEMS/NEMS のロードマップと必要な新機能性材料	197
4. 4. 1	健康・医療分野でのロードマップ	197
4. 4. 2	情報・通信分野でのロードマップ	198
4. 4. 3	環境・エネルギー分野でのロードマップ	200
4. 5	まとめ	202
第5章 新機能性材料の NEMS への展開を促進するための提言		206
材料名による簡易索引		208