

3.5 データベースの構築

3.5.1 知識データベースの開発

3.5.1.1 知識データベース・システムの開発

(1) 研究開発の概要

MEMS 開発・設計に関わる知識・ノウハウを体系化し、フレームワークソフトと連携し、フレームワークの基本機能であるデータベース・インターフェースを通して、初心者の MEMS 設計の支援を行うことができるとともに、MEMS 開発・設計者の知識、知見、実績の蓄積が可能な知識データベース・システムを構築することを目標とした。目標に対応して以下の研究開発を実施した。

① 知識データベースの枠組みの構築

<目標>

- 知識データベースの構成の枠組みを終了する。

<成果>

- 知識データベース構築において、MEMS の設計開発に有効な知識データベースの構成の枠組みについてデータ情報の整理、分析を実施し、知識データの構成の枠組みを構築した。

② 知識データベース設計と実装

<目標>

- 知識データベースの概念設計および詳細設計を完了する。
- 平成 16 年度の概念設計および詳細設計を踏まえ、知識データベース・システムの開発を完了する。
- フレームワークソフトとの連携による知識データベース・システムの統合検証テストを完了する。

<成果>

- 概念設計においては知識データ内容における構成要素の抽出、構成要素の従属関係等、知識データベースの要件抽出を行い、機能を決定する。詳細設計ではフレームワークソフトとの連携を考慮したシステムのプログラム構成を策定した。
- 作成したデータの論理構造(ER 図)を基に知識データベース管理システムを実装し、画面イメージに従った蓄積・検索・可視化機能を実現するシステムを開発した。
- 知識データの蓄積がなされたデータベースを用いて、フレームワークソフトとの連携による知識データベース・システムの機能実装および統合検証テストを実施し、知識データベース・システムの動作を確認した。

本研究開発で構築した知識データベース・システムの導入画面を図 3-5-1 に示す。



図 3-5-1 : 知識データベース・システムの導入画面

(2) 研究開発成果の詳細

① 知識データベースの枠組みの構築

知識データベース構築において重要となるデータベースの枠組みについて、MEMS の設計開発に有効な知識データの構成の観点からデータ情報の整理、分析を実施した。具体的には知識データベース委員会による議論により、MEMS 設計支援システムとして必要となるプロセス、設計技術等に関わる知識データの項目内容の抽出、整理、分類を行い、知識データの構成の枠組みを構築した。

本知識データベースでは、図 3-5-2 のとおり、事例を階層構造化して管理することとした。

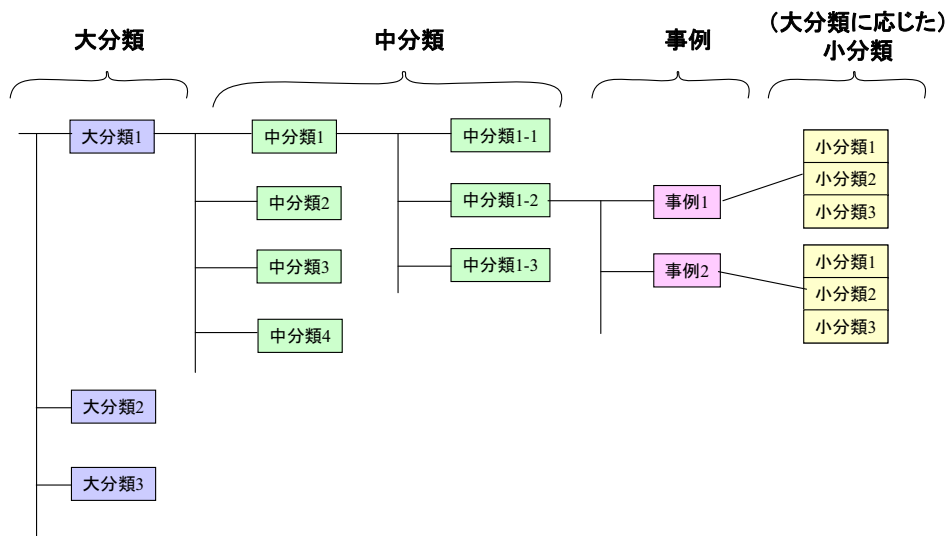


図 3-5-2 : 知識データベースの階層構造のイメージ図

階層構造には大分類と中分類があり、すべての事例はいずれかの中分類に分類される。各事例は、情報を、(大分類ごとに異なる)小分類に分割して保持することとした。大分類としては以下の4項目を設定した。

- プロセス
- デバイス
- 材料特性
- 解析

各大分類は5~10の中分類に分類される。一例として、大分類「プロセス」の中分類を次表に示す。

表 3-5-1 : プロセスの中分類

成膜	常圧 / 減圧 CVD		UV 洗浄	マルチ プロセス	MEMS・IC 集積化
	プラズマ CVD		超音波洗浄		表面マイクロマシーニ
	スパッタ		機能水洗浄		バルクマイクロマシー
	真空蒸着		その他		リフトオフ
	熱酸化	リソ グラフィ	光		LIGA
	スピコート		EB		型取り工程
	めっき		X線		その他
	ゾルゲル	接合	その他	その他	ナノインプリント
	スプレーコート		陽極接合		ホットエンボス
	その他		Si フュージョンボンデ		ダイシング
	拡散接合		レーザーアブレーション		
ドライ エッチン グ	RIE	接合	ハンダ接合	その他	ドリリング
	Deep-RIE		フリットガラス		研磨
	プラズマエッチング		その他		その他
	XeF2 エッチング				
ウェット エッチン グ	O2 アッシング	不純物 拡散 ・熱処理	イオン注入		
	イオンミリング		熱拡散		
	その他	アニール			
	Si 異方性エッチング	パッケー ジ	その他		
	Si 等方性エッチング		ワイヤボンディング		
	SiO2 エッチング		ダイボンディング		
	SiN エッチング		ハーメチックシール		
金属材料エッチング	フリップチップボンデ				
樹脂材料エッチング	モールドイング				
その他	その他				
洗浄	RCA、酸洗浄				

また、材料特性は、「材料」と「特性」の2つに分割し、どちらからでも同じ事例にアクセスできるように設定した。さらに材料特性については材料データベースとデータベース構成を一致させることとした。

② 知識データベース設計と実装

知識情報については知識データベース内部で有機的に連携させ、蓄積・検索・可視化するシステムを開発した。また、データベースへのアクセスは「フレームワークソフト」の機能であるデータベースインターフェースにより行うこととした。

具体的には、知識データベース委員会による議論および知識データベースの枠組みから、概念設計においては知識データ内容における構成要素の抽出、構成要素の従属関係等、知識データベースの要件抽出を行い、機能を決定し、詳細設計ではフレームワークソフトとの連携を考慮したシステムのプログラム構成の策定を実施した。

知識データ内容の構成要素の抽出、構成要素の従属関係等、知識データベースの要件抽出、機能を決定し、データの論理構造(ER図)を作成した。図3-5-4にER図の一部を示す。

また、フレームワークソフトとの連携を考慮したシステムのアーキテクチャを以下のよう

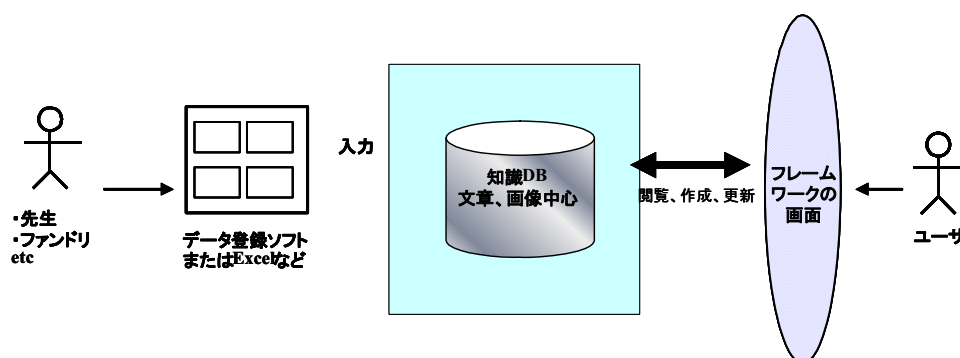


図 3-5-3 : 知識データベースのアーキテクチャ

アーキテクチャの外部機能として、プロジェクト初年度から知識情報を登録するための初期知識データ登録システムを先に作製し、知識データベース委員会委員に配布することで知識情報の収集に支障がないように実施した。図3-5-5に初期知識データ登録システムの初期画面を示す。

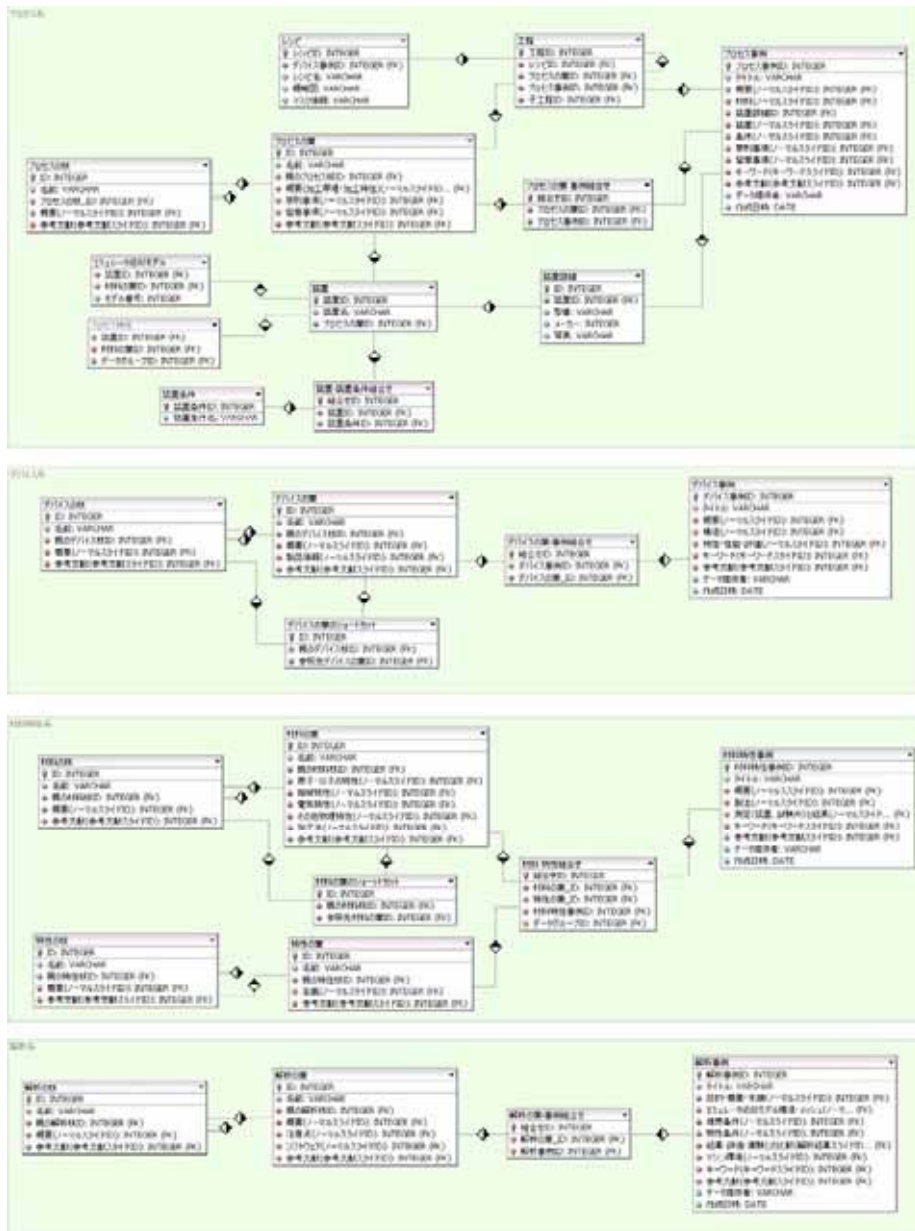


図 3-5-4 : 知識データベースの ER 図(抜粋)

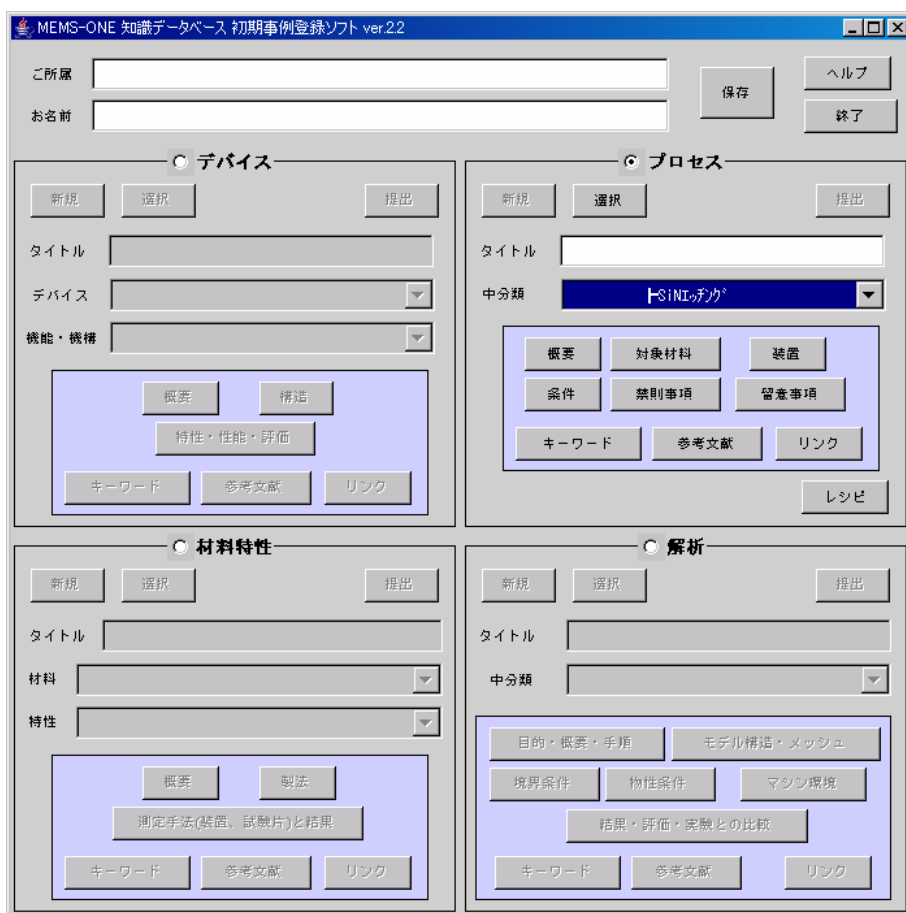


図 3-5-5：初期知識データ登録システム

以上より、データの論理構造(ER 図)を基に MySQL を用いた知識データベース管理システムを実装し、あらかじめ策定した画面イメージに従った蓄積・検索・可視化機能を実現するシステムを開発し、統合検証テストを実施した。

以下に開発した知識データベース・システムの機能を示す。

a) 知識データの蓄積

ユーザによる知識データの追加、変更等を実現するために、知識データの編集機能を実装した。実装した編集機能を表 3-5-2 に示す。

表 3-5-2：知識データベース・システムの編集機能

機能名	機能内容
事例追加	分類に事例を追加する。
事例削除	事例を削除する。
タイトル変更	タイトルを変更する。
ページ編集	事例のページ追加、削除、変更を行う。
キーワード編集	事例毎に設定するキーワードを編集する。
参考文献編集	事例毎に設定する参考文献を編集する。
ユーザ作成事例入力	指定フォルダ以下のユーザ作成事例を入力し、データベー

	スに登録する。
ユーザ作成事例出力	ユーザ作成事例を指定フォルダに出力する。
ユーザ登録事例全削除	ユーザ登録事例をすべて削除する。

b) 知識データの可視化

知識データを可視化するために構築した知識データベース・システムの画面要素を表に示す。

表 3-5-3 : 知識データベース・システムの画面要素

画面要素	表示内容
検索条件入力領域	検索キーワード、条件を入力します。「検索」ボタンをクリックすると検索を実行します。
分類・事例選択領域	選択された分類の事例を一覧表示します。事例をクリックすると選択された事例が表示されます。なおインストール時に配布される事例は黒色で、ユーザ作成事例は赤色で事例タイトルが表示されます。
分類・タイトル表示領域	現在表示されている事例の分類、タイトルを表示します。
項目分類選択領域	表示中の事例に設定されている項目分類が選択可能となります。
スライド表示領域	選択されたページのスライドを表示します。
解説表示領域	選択されたページの解説文を表示します。
キーワード・参考文献表示	表示事例に関連するキーワード、参考文献を表示します。
ページ選択領域	表示を行うページを選択します。

また、データベース内に蓄積した事例に対して、可視化機能を使用して表示した例を図 3-5-6 に示す。

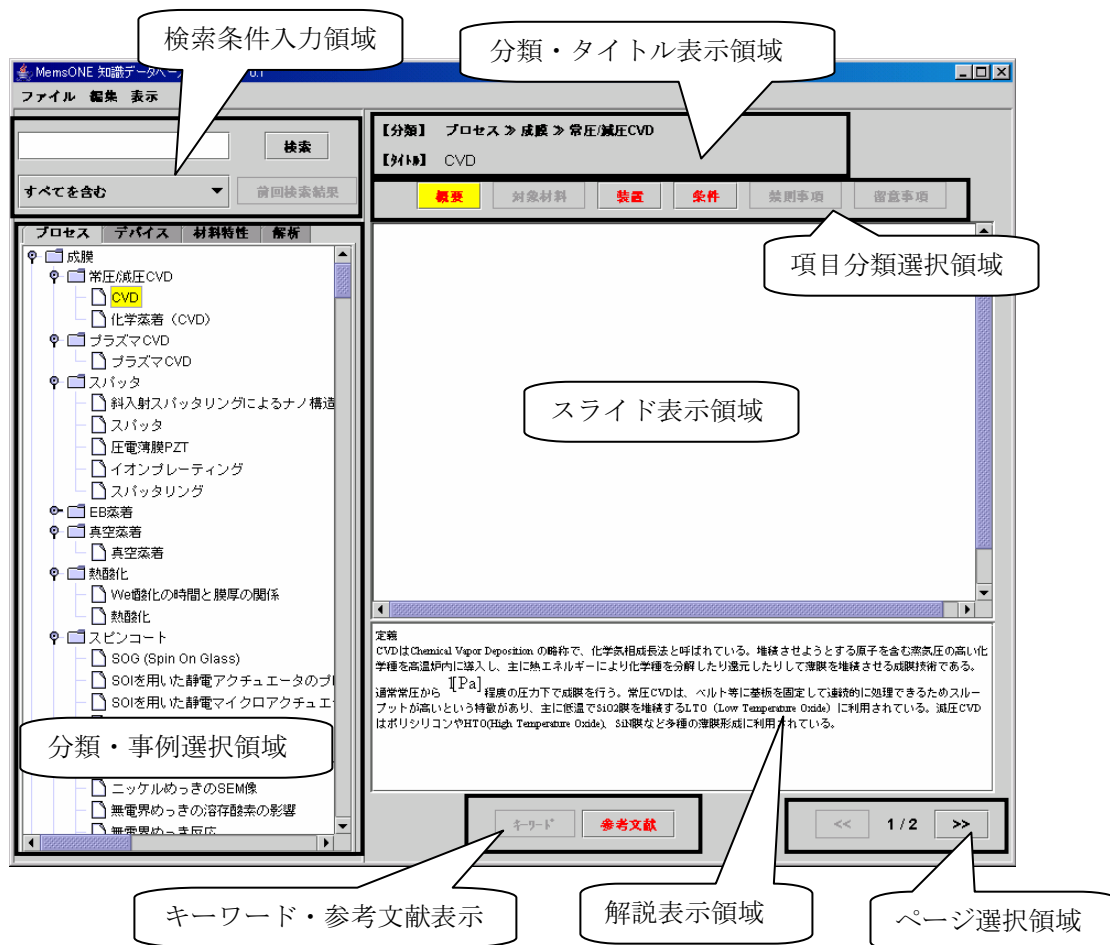


図 3-5-6 : 知識データベース・システムの可視化画面

c) 知識データ検索

知識データベース内のタイトル、文書を対象に検索を実施し、入力されたキーワードを含む事例を一覧表示する検索機能を開発した。検索を実行する際に使用するメニューを表 3-5-4 に示す。

表 3-5-4 : 知識データベース・システムの検索メニュー

検索キーワード	検索キーワードを空白区切りで入力する。
検索モード選択	「すべてを含む(AND)」と「いずれかを含む(OR)」が選択可能。
検索結果表示画面	検索結果を表示する。以下の項目を表示し、タイトルをクリックすると、個別事例が表示される。 <ul style="list-style-type: none"> ・タイトル ・検索に一致した語句を含むページの解説文
「検索」ボタン	入力条件による検索を実行する。
前回検索結果	直前の検索結果を表示する。

「ヤング率」、「ポアソン比」の双方のキーワードを含む検索の実行例を図 3-5-7 に示す。赤色で検索キーワードが表示され、タイトルをクリックすることにより、検索条件に一致したページが表示される。

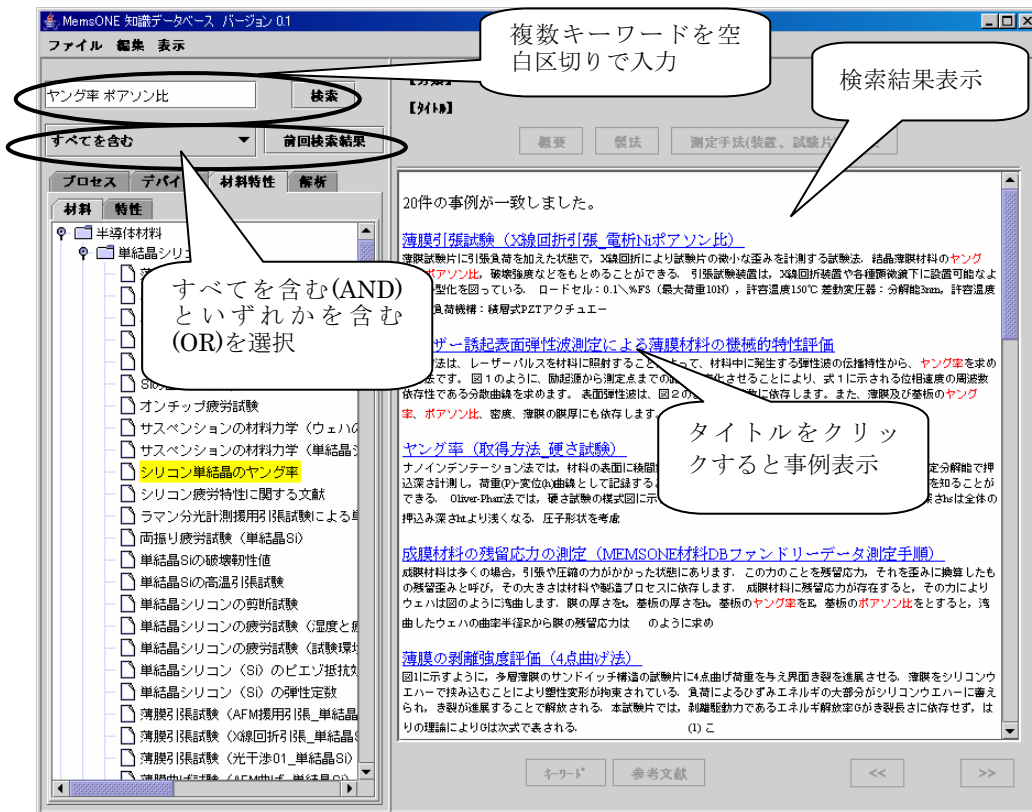


図 3-5-7：知識データベース・システムの検索実行例

以上より、MEMS 開発・設計者の知識、知見、実績の蓄積が可能な知識データベース・システムを開発し、MemsONE システムに実装した。

(3) 研究開発成果の意義

開発された知識データベース・システムによる MEMS の基本知識の取得、蓄積が容易になることから、MEMS 設計の初心者に対する MEMS 設計知識支援になるだけでなく、産業界からの新規 MEMS 事業参加の知識的な障壁を低下させることが期待される。また、各 MEMS 研究開発企業、MEMS 研究教育機関等で用いられることにより、各々の研究開発機関特有のプロセス、装置条件、ノウハウ等の経験則に基づく知識情報を知識データベース・システムに蓄積することが可能であり、各研究開発機関内の情報の共有化、各研究開発機関の MEMS 研究開発の加速、拡大に資すると思われる。

3.5.1.2 知識データの作成、整理・蓄積

(1) 研究開発の概要

プロジェクトの目標の一つに、初心者や経験の乏しい研究者・技術者にも使いこなせるシステムの構築が掲げられている。この目標達成の一環として、先端研究者の豊富な知見やノウハウを蓄積した使い易い知識データベースを開発した。この知識データベースは、初心者のMEMS設計における支援が行えるとともに、MEMS開発・設計者の知識、知見、実績の蓄積が可能なデータベースとなっている。この知識データベースの構築が、MEMS設計に有効な設計・解析支援システム実現に大きく貢献している。

① 実施体制

知識データ作成作業の実施は、マイクロマシンセンター（以下、MMC）およびMMCから再委託した12大学が担当した。また、産業技術総合研究所および参加企業の協力により得られた知識データも加え、データ整理・蓄積はMMCが行った。尚、平成17年度の熱・光ナノインプリント加工解析機能の追加に伴い、ナノインプリント加工に関する知識データを収集するため、新たに群馬大学、首都大学東京が加わり12大学となった。

<再委託先大学>

大阪府立大学、岡山大学、香川大学、京都大学、群馬大学、首都大学東京、東京大学、東京工業大学、豊橋技術科学大学、名古屋大学、新潟大学、兵庫県立大学

<協力先>

産業技術総合研究所、オムロン、オリンパス、松下電工、日立製作所、三菱電機

② 実施概要

平成16年度は、大学研究者の専門性を発揮して知識データの枠組み構成の検討に参画し、知識データをデバイス、プロセス、解析、材料特性の4分野に設定すること、またそれぞれの分野におけるデータの構成要素の抽出と収納の形式について提案し、この案を基に開発担当によって知識データベース仕様が作成された。平成17年度からは、この知識データベース仕様に定めるカテゴリ（デバイス、プロセス、解析、材料特性の大分類、以下中分類・小分類）に基づいた知識データの作成・登録を実施した。この知識データの作成・登録は、知識データベース開発担当から提供された初期データ登録ソフトを用いて実施した。

<大学の担当テーマ>

No.	大学名	担当テーマ
01	大阪府立大学	ナノインプリント加工における材料特性と加工条件の関係及び評価方法に関する知識DBと材料DBの構築

02	岡山大学	1) MEMS材料の電磁特性計測とそれを活用した電磁界解析のための知識データベース構築 2) FDTD解析ソフトの提供と MemsONE への組み込み及び解析理論と利用者知識 DB の構築
03	香川大学	マルチプロセスデータベースのための知識データベースの構築
04	京都大学	1) MEMS材料の機械的特性データベースのための解析知識データベースの構築 2) MEMS材料の熱伝導・熱伝達特性データベースのための解析知識データベースの構築 3) ナノインプリント加工の加工条件に関する知識 DB の構築
05	群馬大学	ナノインプリント加工解析理論と解析方法及び加工時の知識 DB の構築
06	首都大学東京	ナノインプリント用材料の材料試験方法に関する知識 DB の構築と材料 DB の収集
07	東京大学	ドライエッチングデータベースのための知識データベースの構築
08	東京工業大学	MEMSを構成するマイクロ・ナノ材料の機械的特性評価
09	豊橋技術科学大学	成膜プロセスデータベースおよび電子回路集積プロセスのための知識データベースの構築
10	名古屋大学	異方性ウェットエッチングデータベースのための知識データベースの構築
11	新潟大学	マイクロデバイス用材料の接合・接着信頼性予測手法の開発
12	兵庫県立大学	マイクロからナノ領域での材料特性取得のための知識データベースの構築

(2) 研究開発成果の詳細

MEMSの設計・製作に携わる先端研究者・技術者（大学、研究機関、企業）の豊富な知見やノウハウを、さらには、代表的なデバイス、プロセス、計測評価等の関連技術に関する事例を知識データとして集約した。また、平成17年度から機能追加されたナノインプリント加工・解析に関わる、型の最適化、解析技術、塑性加工、材料試験などの知識データについても作成・収集し、集約した。

平成16年度は、大学研究者の専門性を発揮して知識データの枠組み構成の検討に参画し、知識データをデバイス、プロセス、解析、材料特性の4分野に設定すること、またそれぞれの分野におけるデータの構成要素の抽出と収納の形式について提案し、次の知識データベース仕様を決定した。

- ・大分類として、デバイス、プロセス、材料特性、解析の4分野に分類する。

- ・大分類の下に、それぞれ中分類、事例（小分類）を置く。
- ・事例の分類（小分類）
 - デバイス： 概要、構造、特性・性能・評価、キーワード、参考文献
 - プロセス： 概要、対象材料、装置、条件、禁則事項、留意事項、キーワード、参考文献
 - 材料特性： 概要、製法、測定手法（装置、試験片）、キーワード、参考文献
 - 解析： 目的・概要・手順、モデル構造・メッシュ、境界条件、物性条件、結果・評価・実験との比較、マシン環境、キーワード、参考文献

平成17年度からは、この仕様に基づき本格的な知識データの作成・収集を実施した。以降に、MMCおよび各大学の研究成果の詳細を示す。また、登録した知識データを知識データベースシステムで表示した例を、図3-5-8、図3-5-9に示す。



図 3-5-8 画面イメージと知識データの参照例



図 3-5-9 知識データベースの検索例

① 知識データ集約成果の概要

知識DB委員会において、目標件数1000件を設定して推進した。この結果、新規作成成分として約820件（研究機関・企業作成成分を含む）の知識データを集積することができた。分野別ではプロセス分野と材料特性分野が30%強と多く、デバイス分野20%強、解析分野が10%弱と少ないが、全分野を網羅しており、知識データベースとしての有効性を発揮できるものである。

また、マイクロ化学研究組合で構築された知識データベース中のMEMS関連データ約730件をMemsONE知識データベースに組み込むことができた。更に、MMCが平成10年に「マイクロマシン技術専門用語」の冊子を纏めたが、これを再度電子データ化してMemsONE知識データベースに約200件収納した。

以上の各成果を合わせると約1750件の知識データが集積できたことになり、本プロジェクト推進の最初の知識DB委員会で申し合わせた目標値1000件を達成することができた。

No.	データ種別 (カテゴリ)	件数	内プロジェクトで作成分
1	プロセス関連	385	285
2	デバイス関連	970	202

3	材料特性関連	330	269
4	解析関連	60	60
	合 計	1745	816

② マイクロマシンセンターの成果詳細

12大学から収集するデータに加え、知識データベースを更に充実するため、国内外のMEMS関連の主要学会と主要学会誌(出版物)から知識データ情報を収集し、MEMSの設計・解析、試作、計測・評価及び材料特性に有用な知識データを厳選、内容のチェックと評価、活用に適した整理を加えて、知識データを蓄積した。また、世界的な主要学会・シンポジウムに出席して、最新の知識データを収集した。

具体的には、

平成17年度は、MEMS技術に関連する国際学会 **Transducers '05 (International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems)**、**MNE2005 (Conference on Micro-& Nano-Engineering)**、**Nanotech2005**、**DTIP2005 (Symposium on design, test, integration packaging of MEMS & MOEMS)** のシンポジウムから知識データの収集を図り、その中から78件の文献抄録を作製して、データベースに登録した。内訳はデバイス分野51件、プロセス分野20件、材料特性分野7件である。

平成18年度は、 **μ TAS2006 (International Conference on Miniaturized Systems for chemistry and Life Sciences)** と **MNE2006 (International Conference on Micro-& Nano-Engineering)** から最新知識情報を探索・収集し、MEMSのデバイス、プロセス・試作、計測・評価及び材料特性分野の最新の知識データを今年度分として約10件集積した。

3ヶ年の活動により約110件の知識データを集積し登録した。また、マイクロ化学研究組合で構築された知識データベースの中でMEMS関連の約730件の知識データを先方の了解の下に **MemsONE** 知識データベースに組み込むことができた。更に、マイクロマシンセンターが平成10年に「マイクロマシン技術専門用語」の冊子を纏めたが、これはMEMS関連の基本的用語の理解には有用であることから、再度電子データ化して **MemsONE** 知識データベースに約200件収納した。

③ 大学の成果詳細

各大学が知識データの作成・収集に注力した平成17年度および平成18年度の研究成果を、下記に記載する。これらの成果は、全て知識データに反映されている。

a) 「ナノインプリント加工における材料特性と加工条件の関係及び評価方法に関する知識DBと材料DBの構築」

(担当：大阪府立大学)

平成17年度は、熱ならびに光ナノインプリント法による、成形性、実験上の課題、離

型などの問題、および解析システム構築に必要なモデル化について、これまでの実験データと計算結果の精査を行い、基礎的モデルの提案を行った。また、データベース構築のための実験ならびに計算結果との対応を考慮した基礎的データの取得、整理ならびにデータベース化を行った。

平成18年度は、**MemsONE**におけるナノインプリント用シミュレーションのプロセスデータの収集とデータベース登録を行った。

b) 「MEMS材料の電磁特性計測とそれを活用した電磁界解析のための知識データベース構築」

(担当：岡山大学)

平成17年度は、電磁現象を利用した機器に使用される各種MEMS用材料の具体的なDB素材を収集して入力し、DBシステムの機能を検証した。さらに、開発後の公開を視野に入れて、知識DBが提供すべき機能を引き続き検討し、仕様改善の提案を行った。

平成18年度は、前年度の成果を受けて、電磁特性DBと他の諸特性に関するDBとの整合性を検討するとともに、DBを組み込んだ設計・解析システムの機能および精度を確認し、実用化を目指して改善を図った。さらに、利用促進のため、ユーザが必要とする理論および使用法に関するマニュアル作成に必要な知識の提供、解析結果の評価方法および設計指針に関する知識DBの作成、各種のMEMS応用機器に対応した標準的な解析例の提示などを行なった。

c) 「FDTD解析ソフトの提供とMemsONEへの組み込み及び解析理論と利用者知識DBの構築」

(担当：岡山大学)

平成17年度は、これまで岡山大学で開発を行ってきたアンテナ・マイクロ波解析用**FDTD** ソルバを拡張し、光ナノインプリント解析用ソルバとしてフレームワークと接続するためのインターフェース整備と、光ナノインプリント解析特有の入力波源、期境界条件の実装を行った。また、MEMS用解析で要求される微細モデリングを可能にするため、不等間隔グリッドおよび媒質境界における誘電率、透磁率の高精度化を図った。

平成18年度は、光ナノインプリントにおける設計指針および物理現象を把握するためのアシストを目的とし、電磁波解析に主として用いられてきた**FDTD** 法ソルバを拡張した。フレームワークとのインターフェースを整備し、光ナノインプリント用シミュレータとして動作するようにした。加えて、従来の電磁波解析機能を有効に残すことで、**MemsONE**における電磁波解析、高周波解析の1ソルバとして動作するようメンテナンスを行った。

d) 「マルチプロセスデータベースのための知識データベースの構築」

(担当：香川大学)

平成17年度は、金属のエッチングに対するエッチング液とマスク材料の選択表を作成

するための調査及び実際の実験を行った。金属としては MEMS でよく利用されるアルミニウム、金、クロム、ニッケルなどを対象とし、それぞれのエッチング液に対して他の材料がエッチングされるかどうか調べた。また Si の代表的なエッチング液である KOH 水溶液、TMAH 水溶液、SiO₂ のエッチング液であるフッ酸、バッファードフッ酸に対する金属の耐性も実験を行って実際に調べた。そしてこれらを元に金属エッチングに対するデータベースを作成した。また、櫛歯センサー付 AFM プロブを作製し、その作製プロセス工程の一つ一つを詳細にレシピ化した。この過程において、一般的な教科書には書かれることのない、テフロンのプロセス用治具の作製法や、洗浄法の詳細をデータベース登録した。さらに、MEMS プロセスデータベースとして担当している、CVD 法、スパッタ法、真空蒸着法、熱酸化のそれぞれの原理について詳細に記述し、データベース登録をした。

平成 18 年度は、研究試作しているデバイスのプロセスデータをデータベースとして登録した。具体的には原子間力顕微鏡用プロブとして研究している櫛歯アクチュエータについて、様々なバネ定数、バネ構造、共振周波数を有するデバイスを作製し、理論計算やシミュレーションとのずれについて考察・データベース化した。またこれに関連し、ラグランジュ方程式による櫛歯アクチュエータの解析手法をデータベースに登録した。また、Si の熱膨張アクチュエータについてもその作製方法のレシピ詳細をデータベース登録した。その他、標準プロセスのチュートリアル、ホーロー構造の AFM プロブ、DNA ピンセット、マルチプロブチップ、光干渉型プロブなど、複雑な形状を作製するためのプロセスとノウハウをデータベース化した。さらに、櫛歯アクチュエータの自励発振についてもデータベースとして登録した。

e) 「MEMS 材料の機械的特性データベースのための解析知識データベースの構築」

(担当：京都大学)

平成 17 年度は、知識 DB の構造とデータベース構築の基礎の確立を行い、年度末に際しては、データの入力を行った。また、接合強度解析に関しては宮崎教授のグループが、電磁波解析・ナノインプリント解析に関しては小寺・津守がソフトウェア委員会において、システム開発に対して解析方法と開発中のシステムのチェックを行い、さらに、ナノインプリントに関する知識 DB の構築を担当した。また、複合材料強度および剥離強度と圧電材料のデータベース構築を開始した

平成 18 年度は、データベース構築、情報の蓄積を H17 年度に続いて行うとともに、機能解析ソフトの機能評価および構造に関して検証を行った。また、知識 DB が提供すべき機能を継続して検証するとともに、データベースの構造の充実化を図った。

f) 「MEMS 材料の熱伝導・熱伝達特性データベースのための解析知識データベースの構築」

(担当：京都大学)

平成17年度は、初年度にプロセス、材料、デバイス、解析の4グループに大別され、エクスプローラーと類似形式の階層的な構造を持った知識データベースのフレームワークに基づき、初年度に引き続いてMEMS用の薄膜材料等の伝熱特性に関するデータベース構築、蓄積情報の検討、ならびに知識データベースが提供すべき機能を検討して決定するとともに、データベース構造を検討した。また、データベースの見直しを行いながら、材料試験の結果を反映させた伝熱特性に関するデータベースの蓄積を行い、とくに、「解析」グループ用入力データとして、熱伝導解析、流体解析、熱伝達解析に関する基礎的事項に列挙して文書ファイル化し、データ入力に備えた。その一方で、MEMS解析システムの評価用流路内流れの基準モデルとして初年度に実施した急拡大部を伴うマイクロ流路の試作を進展させ、流体混合が困難な極低レイノルズ数流れ下におけるパッシブな混合促進方法として、鍵型溝や斜め溝を流路底面に付設することを試みた。また、ドイツ国エルランゲンにある流体力学研究所(LSTM)で噴流実験の視察を行って得た情報を基に、それを脈動の伴うマイクロ流路内流れにおける混合実験に応用した。いずれのものについても、現在、PIVシステムによる速度測定を実施して、流動と混合の特性評価を実施している。

平成18年度は、これまでに蓄積したMEMS用薄膜材料、内部流動、雰囲気環境等の熱伝導・熱伝達特性に関するデータを基に、知識データベースを完成させるとともに、既に入力されている知識データベースの見直しを図りながら、最新の材料試験の結果を反映させた伝熱特性に関するデータベースを更新した。また、それに平行した熱流動実験結果、MEMS用解析システムの評価用基準モデル、試作結果などについての知識データベースへの反映を実験グループと協力して実施した。

g) 「ナノインプリント加工の加工条件に関する知識DBの構築」

(担当：京都大学)

平成17年度は加工実験を行い樹脂の成型特性に関する知見を得た。特に10 μm オーダーの大型のパターンを用い樹脂のマイクロおよびマクロな流動特性の影響を評価した。型形状および樹脂材料厚、また温度履歴・負荷荷重履歴といったプロセス条件をもとに知識DBとしてまとめる。この実験においては同時にモールドのいくつかの表面処理による離型時の影響についての評価も行った。

平成18年度は、ナノインプリント加工実験を行い加工事例DBを充実させるとともに、解析との比較に関しての検討も行い、変形理論および境界条件の問題、マイクロ・ナノサイズにおける材料特性の違いといった要因についての事例を知識DBとして纏めた。また、NNT2006(2006年11月、サンフランシスコ)に参加し、ナノインプリント技術について調査を行った。

h) 「ナノインプリント加工解析理論と解析方法及び加工時の知識DBの構築」

(担当：群馬大学)

平成17年度は、ナノインプリント材料として非晶質構造を有し、熱可塑性を有する粘性流動材料をとりあげ、材料自体のマクロ変形特性ならびにナノインプリント加工の形状転写特性に及ぼす材料とその寸法効果を実験的に明らかにし、知識データベース(DB)を構築した。具体的には、材料として非晶性プラスチック、酸化ガラス、金属ガラスのマクロな変形特性として、ガラス遷移挙動と粘性-温度の関係を求めた。ナノインプリント加工特性の評価は基準金型形状と成形形状を比較する方法を用いた。基準金型形状は電子ビームリソグラフィ・異方性エッチングを(100)Siに適用し、溝幅0.1~2 μm 、底角70.6度のV溝形状を得た。さらに集束イオンビーム加工(FIB)を用いて非晶質カーボン、金属ガラス製ナノ金型を製作して、ナノインプリント加工に供した。実験解析の結果、成形圧力、粘性係数、表面張力、金型・材料間の接触角(濡れ性)が、成形特性に影響を及ぼすこと、従来の加工に比べると、加熱・冷却に伴う熱膨張の絶対値(量)と材料・金型間の熱弾性変形が重要であることが明らかとなった。

平成18年度は、ナノインプリント材料として有望な合金として金属ガラスをとりあげ、その特性解析と加工時の知識データベースの構築を行った。金属ガラスは、ガラス遷移挙動を示し、過冷却液体域温度にてニュートン粘性挙動を呈する合金で、熱ナノインプリントが可能である。高強度、耐食性や軟電磁特性などの高機能性金属材料として期待される。集束イオンビーム加工(FIB)を用いて非晶質カーボン、シリコン、金属ガラス製ナノ金型を製作して、ナノインプリント加工特性を調べた。実験解析の結果、金型接触近傍の成形圧力、粘性係数、表面張力、特に金型・材料間の接触角(濡れ性)が成形特性に影響を及ぼすこと、厚みが大きい材料ではバルク流動の影響が大きく良好な成形結果が得られないこと、等を明らかにした。以上の特性と、基本的な熱ナノインプリント特性に必要な物性計測方法や材料特性について調査し、知識DBの構築を行った。

i) 「ナノインプリント用材料の材料試験方法に関する知識DBの構築と材料DBの収集」

(担当：首都大学東京)

平成17年度は、ナノスケールでの基本材料物性や変形特性などを取得するための試験方法に関する調査を行った。材料の応力ひずみ関係や温度や変形速度がそれに及ぼす影響について、ナノスケールで試験できる試験方法を考案し、その装置の設計を行った。ナノインプリントの設計・解析のための材料特性データの収集を行い、各種材料特性のデータベース化を行った。

平成18年度に実施した研究開発は以下の2点である。

○マイクロスケールでの材料変形特性評価

ナノインプリントにおける材料変形に及ぼす影響因子を分析し、マイクロナノスケールでの材料物性や変形特性などを取得する試験方法に関する調査を行った。高分子材料に対

して、成形金型パターンが小さくなるにつれて、変形抵抗が大きく、また材料を形成する高分子チェーンがある特定の方向に揃い、その結果、機械的な特性や光学的な特性が変化することがわかった。

そこで、簡易な実験装置を製作し、金型パターンを 100 μm , 50 μm , 15 μm , 1 μm と変化させた場合、樹脂の成形性に及ぼす成形速度および成形圧力の影響を調べた。また、同様な条件について、開発の有限要素法解析ソフトを用いた成形シミュレーションを行った。成形速度および成形圧力が樹脂の成形性に及ぼす影響が大きく、また金型パターンの寸法が小さくなるにつれて、その影響が大きくなることが分かった。実験結果とシミュレーション結果を比較した結果、その相違が大きいことが分かった。すなわち、樹脂材料に対して、マクロな実験で得られた材料物性はマイクロナノスケールでの変形には、必ずしも対応せず、マイクロナノスケールで成形ではそれぞれのスケールでの材料特性評価システムの構築が必要と考えられる。今後、各種スケールでの材料実験法の提案やそれぞれのスケールに応じた材料モデルを構築する必要がある。

○機械特性評価知識データベースの構築

薄膜を含むマイクロ材料の機械特性評価知識データベースの構築を行った。金属材料薄膜や微粒子材料の物性評価および材料変形特性などの知識データベースを作成した。

j) 「ドライエッチングデータベースのための知識データベースの構築」

(担当：東京大学)

平成18年度は、光 MEMS 応用分野では、マイクロミラーのスキャン機構として垂直櫛歯型静電アクチュエータが多用されている。櫛歯にオフセットをつけるための特殊な製造プロセスは、研究室レベルでは簡単に実現できるが、これをファンドリーサービスを利用して製造する際には、プロセス再現性、エッチングの面内不均一性問題となり、コストが高くなってしまふ。そこで本研究グループでは、等価なアクチュエータ機能になるべく簡単なプロセスで実現するための方法を検討した。具体的には、垂直櫛歯の電極対を1枚マスクで形成し、そのうち一方をプロセス・スティクションを利用して変位させるものである。これにより、ミラーのオフセットを安価に、かつ、ほぼ歩留まり100%で実現した。また、本プロセスにより製造コストは二分の1以下に抑えることができる。

平成18年度は、従来のSOI（貼り合わせシリコン基板）を用いたバルクマイクロマシニング型アクチュエータでは、SOI活性層にサスペンション等の機械構造と、静電櫛歯電極などの駆動機構の両方を製作する例がほとんどであった。このため、限られた面積内でコンパクトにアクチュエータを設計するための自由度が低いことが問題であった。これを解決するための手法として、本研究では、SOIの活性層と支持基板の両方をドライエッチングによって加工し、XYZステージなどの比較的複雑な機構を2階建て構造としてコンパクトに設計する方法を提案した。SOIと基板の2つのレイヤー間の機械的・電

氣的接続を確保するために、埋め込み酸化膜を介した遊離構造や電源配線用サスペンション、スティッキングを利用したSOI-基板間の電氣的接続などの構造を考案し、一連の設計手法をトポロジカル・レイヤースイッチ（複数のデバイス層間を縫って複雑な幾何位相をもつ構造をつくる）手法として提案した。

k) 「MEMSを構成するマイクロ・ナノ材料の機械的特性評価」

(担当：東京工業大学)

平成17年度は、MEMSを構成するマイクロ・ナノ材料の機械的性質は、サイズ効果によりその機械的性質がバルクのものとは異なるばかりでなく、その製造プロセスにも大きく依存する。従って、バルク材料の機械的性質とマイクロ・ナノ材料の機械的性質を比較し、MEMSデバイスの設計へと応用させることがきわめて重要となる。本年度は、ミクロンサイズ試験片用の材料試験装置を応用することにより、MEMS用金属及び高分子材料の機械的性質評価法を開発するとともに、MEMSデバイスへの適用が予想されるNi-Pアモルファス合金を標準材料として用い、その機械的性質を計測し、試験法の検証を行った。さらに、MEMSデバイスへの適用が考えられる金属材料を超臨界めっきを用い金属薄膜を作製する方法を開発した。また、高分子材料(SU8)についても機械的性質を求める方法を開発し、平成18年度へ向けデータベースの充実を図る方策を整えた。

平成18年度は、MEMSを構成するマイクロ・ナノ材料の機械的特性評価に関する研究開発は、(a)集束イオンビーム加工(FIB)の影響、(b)電解研磨による超微細引張試験片(断面径約50・m)の加工法と機械的特性評価および、(c)高分子(SU8)膜の強度に及ぼすプロセスの影響および密着強度計測評価法の開発、(d)ステンレス薄膜の曲げ疲労試験を行った。

- (a). に関してはこれまでに報告してきた強度や変形挙動の解析に加え、ビームの照射方向や被照射材の化学組成が照射時に誘起されるナノ結晶の析出形態や結晶方位に及ぼす影響を明らかにした。
- (b). に関しては従来の材料試験で用いられている加工法と同一かつ損傷が最も少ないと考えられている電解研磨を用いて作成するシステムを開発した。具体的には所謂ドッグボーン型引張試験片をコンピュータ制御された全自動超精密電解研磨装置で作成し、その機械的特性と試験片径および組織との関連を求めた。
- (c). に関してはMEMSで用いられる光感光レジストのSU8を用い、プロセス特に露光量の強度に及ぼす影響を微小曲げ試験片および引っ張り試験片を用いて求めた。一方密着強度に関してはフォトリソグラフによってシリコン基板上に直径200-50・mの円柱状のジグを作成した。これをマイクロサイズ試験片用の材料試験機を用いてSU8とシリコン間のせん断および引っ張り密着強度を求めた。
- (d). 板厚20・m、結晶粒径1・mのステンレス薄膜より長さ50・mのカンチレバー型曲げ疲労試験片をFIBで加工し、疲労強度および変形機構を解析した。

1) 「成膜プロセスデータベースおよび電子回路集積プロセスのための知識データベースの構築」

(担当：豊橋技術科学大学)

平成17年度は、CMOS集積化MEMSプロセスの研究を実施し、CMOS回路集積プロセス、マイクロマシニングの定義、事例知識データを、新規に約30件以上作成した。CMOS回路集積プロセスの知識データにおいては、集積回路とMEMSデバイスの一体化に必要な基本技術、ならびに基本プロセスについて記述している。その他、集積回路プロセスに関する留意事項、禁則事項についても紹介している。全体として、本プロジェクトの研究実験成果が、広く知識データに残る様、留意してデータ収集を実施した。

平成18年度は、引き続きCMOS集積化MEMSプロセスの研究を実施し、CMOS回路集積プロセス、マイクロマシニングの定義、事例知識データを、新規に33件登録した。CMOS回路集積プロセスの知識データにおいては、集積回路とMEMSデバイスの一体化に必要な基本技術、ならびに基本プロセス、ならびに、それらを応用したデバイス事例について記述している。プロジェクト期間全体を通じ、本学の知識データ登録件数は50件を超えることができた。

m) 「異方性ウェットエッチングデータベースのための知識データベースの構築」

(担当：名古屋大学)

平成17年度は、シリコン単結晶がアルカリ水溶液でエッチングされるさいのエッチング速度を、Si(100), (110), (111)の3方位について表示するシステムを試作した。パラメータはエッチング液(KOH, TMAHの2種類)、溶液濃度、エッチング温度の3項目である。

平成18年度は、シリコン単結晶がアルカリ水溶液でエッチングされるさいのエッチング速度をSi(100), (110), (111)の3方位について表示するシステムを完成した。パラメータはエッチング液(KOH, TMAHの2種類)、溶液濃度、エッチング温度の3項目である。昨年度に試作したシステムに加えて、高濃度溶液の条件で100°C以上の高温領域のエッチング速度データを新たに増強した。このシステムは、これまで当研究室が測定・評価してきた範囲をカバーする上記条件を内挿する範囲で、上記パラメータを与えるとエッチング速度を計算して表示する。さらにパラメータによるエッチング速度の変化をグラフ表示することができる。

n) 「マイクロデバイス用材料の接合・接着信頼性予測手法の開発」

(担当：新潟大学)

平成17年度は、マイクロデバイス用材料(シリコン、ガラス)の陽極接合・接着法について、接合条件(電圧、時間、温度)・接着条件(接着剤の種類)と接合・接着強さとの関係のデータの蓄積を行うと同時に、使用中の環境因子(温度、時間、湿度、逆電圧等)の影響を検討した。

陽極接合では、接合条件因子の電圧(100～900V)、時間(4～60分)、温度(200～400℃)を変化させ、接合部を引張試験して、十分な接合強さを得る条件範囲を明らかにした。また、これら陽極接合部に対して、後熱処理(350～450℃)、逆電圧(100～900V)の影響を検討した結果、接合強さの低い接合部では、後熱によって接合強さが向上すること。逆電圧印可は界面に反応層を形成するが、接合強さには影響しないことが明らかとなった。

接着では、多分岐ポリアミドアミングラフトシリカを用いるエポキシ樹脂硬化物の特性と接着強度について検討した。その結果、多分岐ポリアミドアミングラフトシリカによる硬化物のガラス転移温度は従来の硬化剤を用いたものと比較して、約10℃上昇し、耐熱性が改善されることが分かった。また、ステンレス板間の接着強度も、多分岐ポリアミドアミングラフトシリカで硬化することにより、10%程度増加することが分かった。これは、シリカナノ粒子が硬化物中へ化学結合を介して組み込まれるためと解析した。

平成18年度は、マイクロデバイス用材料(シリコン、ガラス)の陽極接合・接着法について、各種の接合条件(電圧、時間、温度)・接着条件(接着剤の種類)での接合部・接着部への、使用中の環境因子(温度、時間、湿度、逆電圧等)の影響を検討した。

陽極接合では、ガラスの種類の影響について検討した結果、PYREX7740、TEMPAXよりも、SW-YYの方が低い接合温度で接合可能である。これは、リチウムの添加で低い温度でのイオンの移動が可能であり、接合時の電荷量の観点では大差がない。また、使用中の環境因子として、湿度(80%)や温度(RT～80℃)は接合部の機械的性質にほとんど影響しない。しかし、接合部への逆電圧の付与は接合部に大きな損傷を与える。この劣化は、接合時に接合界面から移動したアルカリイオンが逆電圧の付与で接合界面に再度偏析し、水溶性の物質が形成されることが原因である。

接着では、多分岐フォスファゼンポリマーをグラフトしたシリカを用いるエポキシ樹脂の硬化物の特性と接着強度について検討した。その結果、多分岐フォスファゼンポリマーによる硬化物のガラス転移温度は市販の硬化剤の系よりも30～50℃上昇し、耐熱性が向上することが分かった。また、アルミ板間の接着強度も多分岐フォスファゼンポリマーグラフトで硬化した方が市販の硬化剤を用いたときと比較して、約1.5倍になることが分かった。また、相対湿度96%、90℃で72時間放置後のガラス転移温度と接着強度の低下は、市販の硬化剤の系と比較して小さいことが明らかになった。この様な結果は、シリカナノ粒子が硬化物中へ疎水性のグラフト鎖間の化学結合を介して組み込まれているためと考えられる。

o) 「マイクロからナノ領域での材料特性取得のための知識データベースの構築」

(担当：兵庫県立大学)

平成17年度は、知識データベースの入力を実施した。具体的には、MEMS材料の力学特性(特に、ヤング率・ポアソン比・引張/曲げ強度等)に関する知識情報を論文ならびに国際会議プロシーディングから抜粋し、30件のデータ入力を実施した。また、兵庫県立

大学で取得した材料データについても入力を行った。委員会活動では、主に知識データ入力画面ならびに MemsONE ソフト画面の開発、知識データ入力情報の内容、について議論・検討した。

マイクロマシン関連の国際会議：Transducers'05（韓国ソウル，6/5～6/9）および MEMS2006（トルコイスタンブール，1/22～1/26）に出席・発表し、ナノ・マイクロレベルでの機械的特性評価法の最新情報収集を行った。この情報について、次年度の知識データベースへ反映させる予定である。

平成18年度は、知識データベースの入力を重点に実施した。具体的には、MEMS材料の力学特性（特に、ヤング率・ポアソン比・引張/曲げ強度等）の計測方法、MEMSデバイス（Ti-Ni形状記憶合金を用いたマイクロアクチュエータ等）、MEMSプロセス（Au-Snはんだ接着等）に関する知識情報を論文ならびに国際会議プロシーディングから抜粋し、55件のデータをを入力した。兵庫県立大学で取得した材料データについても入力を行った。委員会活動では、主に知識データ入力画面ならびに MemsONE ソフト画面の開発、知識データ入力情報の内容について議論・検討した。

また、マイクロマシン関連の国際会議：APCOT'06（シンガポール，6/25～6/28）および MEMS2007（神戸，1/21～1/25）、材料関連の国際会議：THERMEC'06（カナダ，7/4～7/8）に出席・発表し、ナノ・マイクロレベルでの機械的特性評価技術の最新情報収集を行い、知識データベースに反映させた。

(3) 研究開発成果の意義

本プロジェクトにおいて構築した知識データベースは、MEMSの設計・研究・開発に携わる、12大学、1研究機関、5企業の最先端研究者の豊富な知見やノウハウを体系化して集約したものであり、過去にない素晴らしいものである。

この知識データベースが、MEMSの設計に携わる初心者の経験不足を補うツールのみならず、熟練者や研究者の基礎的データとして活用できれば、MemsONEの国内普及に大きく貢献するとともに、追ってはMEMS産業の裾野の拡大にも寄与するものと期待している。

3.5.2 MEMS 用材料・プロセスデータベースの開発

3.5.2.1 材料・プロセスデータベースの構築

(1) 研究開発の概要

本研究では、解析精度を向上させ、プロトタイプを試作回数削減によるデバイス開発の短期間化、およびファンドリー活用の促進を図ることを目的に、国内ファンドリーによる材料・プロセスデータを取得し、データベースを構築した。

(2) 成果の詳細

① 成膜材料の機械特性データ

国内 MEMS ファンドリー 3 社に依頼して作製した多結晶シリコン(Poly-Si), Al, Ni, SiO₂, SiN, ポリイミド膜の機械特性及び残留応力のデータを測定し、それらをまとめて材料データベースに登録した。それぞれの膜材料の成膜条件を表 3-5-4 に示す。なお、単結晶シリコン(Single-Si)については、SOI ウェハを用いて測定を行った。

表 3-5-4 成膜材料の機械的特性簡易測定及び残留応力測定のための試料一覧

材料	成膜法	膜厚 μm	下地材料	下地厚 μm	依頼先
Poly-Si	LPCVD	1	SiO ₂	0.5	標準条件 3社
					低応力条件 1社
Al	スパッタ	1	SiO ₂	0.5	2社
Al-Si	スパッタ	1	SiO ₂	0.5	1社
Ni	EB 蒸着	0.25	SiO ₂	0.5	2社
	スパッタ	0.5	SiO ₂	0.5	1社
SiO ₂	熱酸化	1	なし		3社
	PECVD	1	なし		2社
	LPCVD	1	なし		1社
SiN	LPCVD	0.2	SiO ₂	0.1	標準条件 3社
	LPCVD	1	SiO ₂	0.1	低応力条件 1社
ポリイミド	スピノコート	5	なし		3社
Single-Si	SOI	8	SiO ₂	1	ウェハメーカーより購入

成膜材料のヤング率の測定

成膜材料のヤング率の測定には、レーザ誘起表面弾性波法およびナノインデンテーション法を用いた。図 3-5-10 はレーザ誘起表面弾性波法の測定装置 (ALOTecDresden 社製、LAWave®) である。また、測定の原理を図 3-5-11 に示す。短パルスレーザにより熱弾性的に広帯域の表面波衝撃を発生させ、距離 x を通過した後、この衝撃波を適当な検出器 (本

測定では圧電素子) により検出することにより, 表面に垂直方向の振動成分を持つ表面波の分散を測定する. 得られた分散曲線 (位相速度 vs 周波数) を理論式を用いてフィッティングすることにより, バルク材や薄膜材料のヤング率を得る.



図 3-5-10 レーザ誘起表面弾性波測定装置

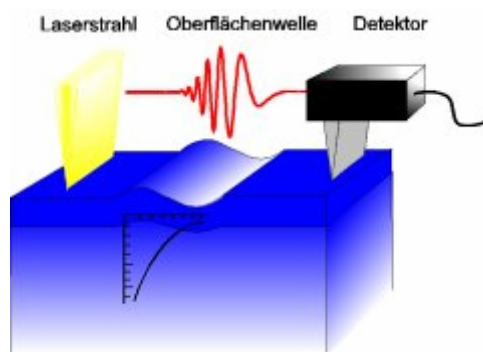


図 3-5-11 測定原理

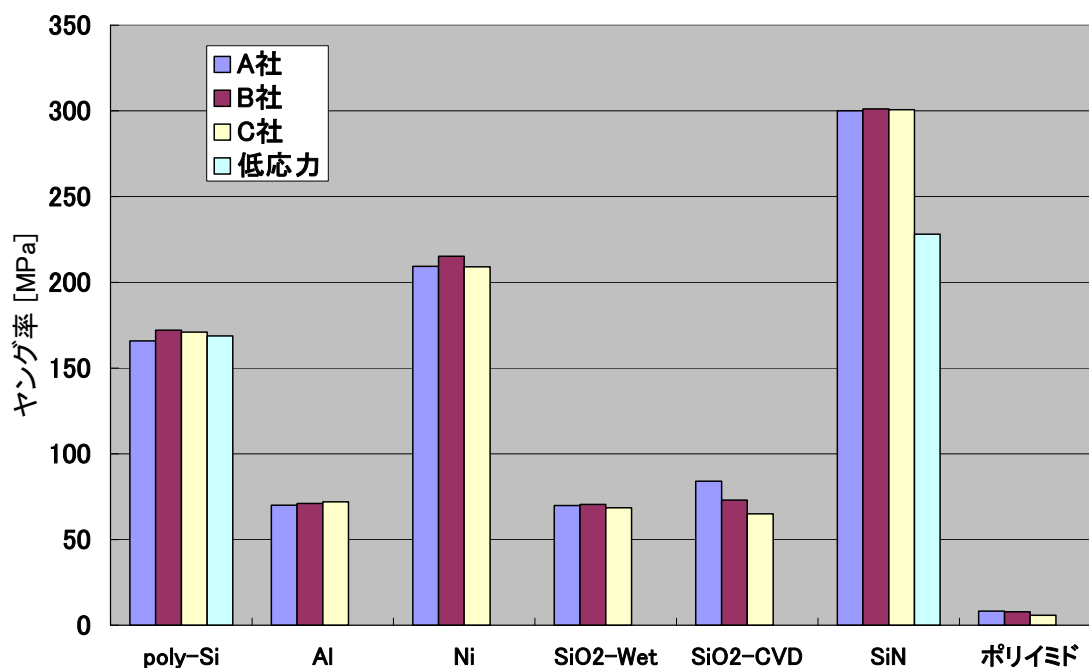


図 3-5-12 レーザ誘起表面弾性波法により得られた各成膜材料のヤング率

測定結果を図 3-5-12 にまとめて示す. 各ファンドリーの各成膜材料それぞれについて 3 枚のウェハの測定を行い, 測定値の平均を示している. 多結晶シリコン, Al および Al-Si, Ni, 熱酸化 SiO₂, PECVD および LPCVD-SiO₂, SiN のデータは, レーザ誘起表面弾性波法によるものであり, ポリイミドのデータについてはナノインデンテーション法によるものである. それぞれの材料で, 3 社の MEMS ファンドリーによる試料の測定を行ったほか, 多結晶 Si および SiN については 1 社の MEMS ファンドリーにより作製された低応力条件

での膜についても、ヤング率の測定を行っている。

Al および熱酸化 SiO₂ については、バルク材とほぼ同一のヤング率となり、ファンドリーやウェハ間でのばらつきも小さかった。また、多結晶 Si, SiN および Ni では、設計膜厚を用いてヤング率を算定したところ、測定値にばらつきが見られたため、膜厚を実測しその値を用いてヤング率を算出した。膜厚の精度が向上したことにより、ファンドリー間でのばらつきは縮小した。ヤング率の値は、やはりバルク材料に近いものとなった。

低応力条件での膜については、多結晶 Si は通常条件のものと同等でバルク材に近いヤング率となっているが、SiN では通常条件の成膜材料やバルク材に比べてヤング率が小さいという測定結果となった。レーザ誘起表面弾性波法では、その測定原理から膜の密度が測定結果に大きく影響すること、低応力条件の SiN では Si と N の組成比がバルク材のものからずれることが知られていることなどから、測定値に膜の密度が影響している可能性がある。これを確認するため、ナノインデンテーション法による測定結果との比較を行った。両手法による測定結果は良く一致し、低応力条件の SiN では、ヤング率はバルク材や通常条件の膜に比べ小さいことが確認された。

ポリイミド膜については、レーザ誘起表面弾性波法でも測定は可能であったが、測定値のばらつきなど測定精度の面から、データベースにはナノインデンテーション法により測定したデータを採用した。ポリイミドのヤング率は3社のファンドリーで異なる結果となったが、ポリイミドは多くの樹脂メーカーから多様な製品が供給されており、ファンドリー各社が採用している材料の違いによるものと考えられる。ポリイミドのヤング率は金属や Si 系の材料に比べて小さく数 MPa 程度であり、各社による違いはあるものの一般に知られている代表的な値と同程度となった。

以上の結果より、測定データをとりまとめ、解析システムのマテリアルデータベースに収録した。

成膜材料の残留応力の測定.

成膜材料の残留応力の測定には、図 3-5-13 の装置を用いて、図 3-5-14 に示すように基板の曲率を光学的に測定する手法を用いた。残留応力は、膜の有無による基板の曲率の変化から、算出した。



図 3-5-13 成膜材料残留応力測定装置

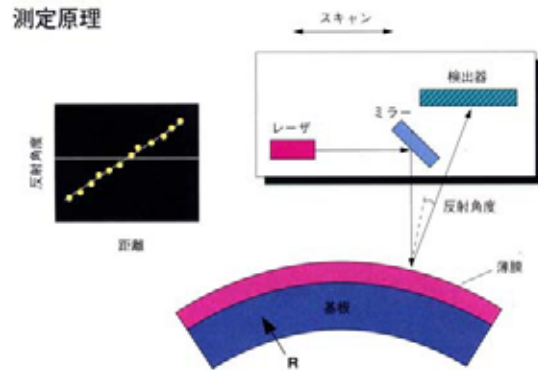


図 3-5-14 残留応力測定原理

図 3-5-15 に各種成膜材料の常温の状態での残留応力の測定結果を示す。各ファンドリーによる各材料の膜について、少なくとも 2 枚以上のウェハの測定を行い、測定値の精度と再現性を確認している。

Poly-Si 膜については、すべてのファンドリーによる膜で圧縮応力となっており、絶対値にも大きな違いはないことから、LPCVD による Poly-Si 膜に共通の特性と考えられる。また、低応力膜については 1 社のみで作製を依頼したが、ほぼ応力がない状態になっており、Poly-Si については応力の制御が可能であることが確認された。

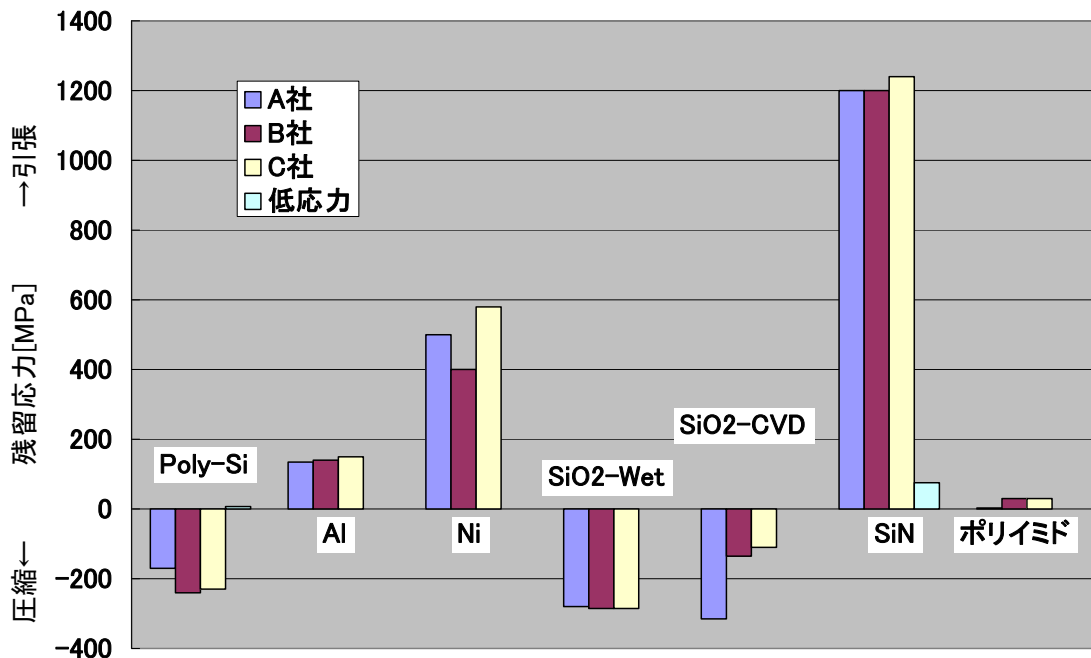


図 3-5-15 各種成膜材料の残留応力測定結果

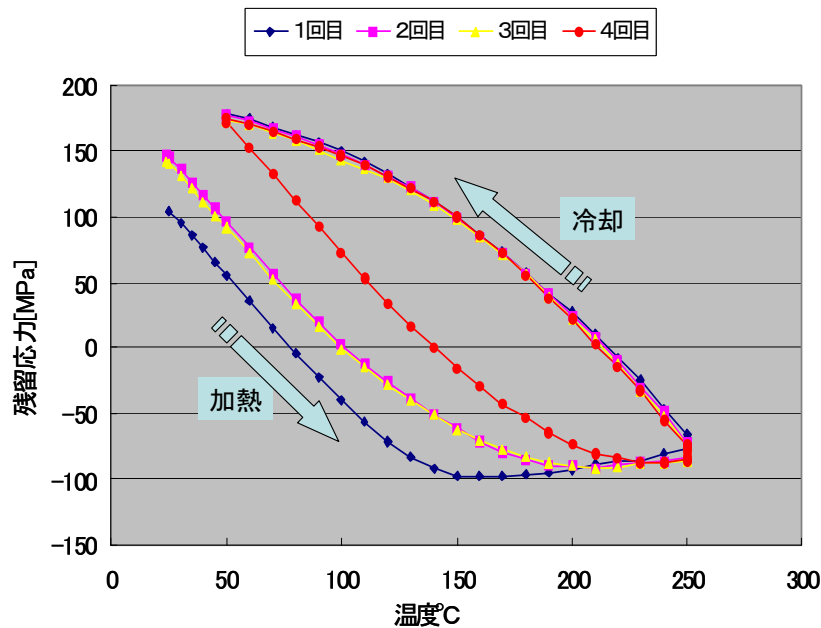


図 3-5-16 加熱冷却による Al 膜の残留応力の変化

Al については、図 3-5-16 に示すように熱履歴により応力に変化が見られた。成膜したままの状態から加熱を行うと、図 3-5-16 の「1 回目」のグラフのように膜の内部応力は引張から圧縮に変化した。これは、Al の熱膨張係数が基板である Si に比べて大きいためであると考えられる。さらに温度を上げていくと、圧縮応力は 100 MPa 程度で飽和し、それ以降は応力が緩やかに減少し始める。Al は融点が低いため、加熱により応力の緩和が起こったものと考えられる。最高温度到達後、冷却を始めると応力は圧縮から引張に変化する。このときも引張応力が大きくなるにつれて応力のグラフは直線からはずれるようになり、応力の緩和が起こっていることがわかる。この場合は温度が低いので応力の緩和はわずかである。さらに、「1 回目」の熱サイクル測定の翌日に行った「2 回目」の温度サイクルでは、開始時の応力が「1 回目」のサイクル終了時の応力に比べ小さくなっている。このことは、Al のような低融点金属では、常温付近であっても応力の緩和が進行することを示している。一方、高温で形成される LPCVD による多結晶シリコンや SiN、および熱酸化 SiO₂ では、加熱冷却により熱膨張率の違いによる応力の変化は観察されるものの、常温での応力値には変化は見られなかった。このような理由から、Al の応力測定では安定化のための熱処理を行った。図 3-5-15 のデータは、安定化熱処理後の常温での残留応力である。すべての膜で引張応力となっており、その応力の値はほぼ同じであった。

Ni については、引っ張り応力ということでは 3 社とも共通であったが、その絶対値については違いが見られた。この違いは、スパッタと電子ビーム蒸着という成膜法の違いとは対応していない。なお、Ni では Al に見られたような加熱冷却に伴う応力の緩和は観察されなかった。

SiO₂については、熱酸化により作製した膜は3社とも圧縮応力であり、その絶対値もほぼ等しいという結果になった。一方、CVDによるSiO₂膜は熱履歴により内部応力に変化が起こることが確認されたため、安定化熱処理を行った後の常温での残留応力を測定した。CVDによるSiO₂膜でもやはり内部応力は圧縮応力となったが、その絶対値はファンドリーにより異なった。また、その違いはPECVDとLPCVDという成膜法の違いとは直接の対応関係はなかった。

SiN膜では非常に大きな引っ張り応力が残留しているが、その絶対値はファンドリー3社ともほぼ同じであり、LPCVDによるSiN膜に共通の傾向と考えられる。一方、低応力のSiN膜ではやはり引っ張り応力が残留しているが、その絶対値は大幅に小さくなっている。

ポリイミド膜は、2社の膜で引っ張り応力となった。応力の絶対値は他の膜に比べて小さいが、膜のヤング率も小さいため歪みの絶対値はある程度大きいと考えられる。残る1社の膜はほとんど応力が発生していなかった。ポリイミドは分子構造を変えることにより様々な特性が変化するため、応力の違いは用いた材料の違いによると考えられる。

単結晶シリコンについては、単結晶ウェハそのものに残留応力はないため、SOIウェハの応力測定を試みた。SOIウェハの単結晶シリコン膜では、成膜材料に比べ残留応力は非常に小さく、ほぼゼロであった。

薄膜の引張試験

室温から200℃程度までの温度範囲において引張試験を実施してMEMS材料のヤング率やポアソン比等の機械特性データを測定するためのMEMS材料用引張試験法を開発した。その際、IECの薄膜引張試験法規格「Tensile testing methods of thin film materials」に基づき、MEMS材料引張試験片の設計・試作を行うと共に、室温から200℃程度までの温度範囲において試験可能であるMEMS材料用引張試験装置を導入した。

図3-5-17に、導入したMEMS材料用引張試験装置の模式図を示す。また、図3-5-18に同装置主要部の写真を示す。本装置は、試験片装着用プローブ（静電チャックでMEMS材料引張試験片のチャック部を固定）、試験片装着用ステージ（MEMS材料引張試験片のSi基板を真空チャックで固定）、荷重負荷用ピエゾアクチュエータ（試験片装着用ステージに変位負荷）、微小荷重用ロードセル（定格荷重：100grf）、ヒータ（試験片装着用ステージに内蔵）、除震台等で構成される。

本装置は、静電チャック式の試験片装着法を用いており、温度負荷後でも静電チャックにより試験片を装着することが可能であるので、温度変化による残留応力発生の問題を回避することができる。そのため、本装置では微小荷重用ロードセルを用いることにより、温度負荷状態でもMEMS材料引張試験片に負荷する微小荷重を正確に測定することが可能である。

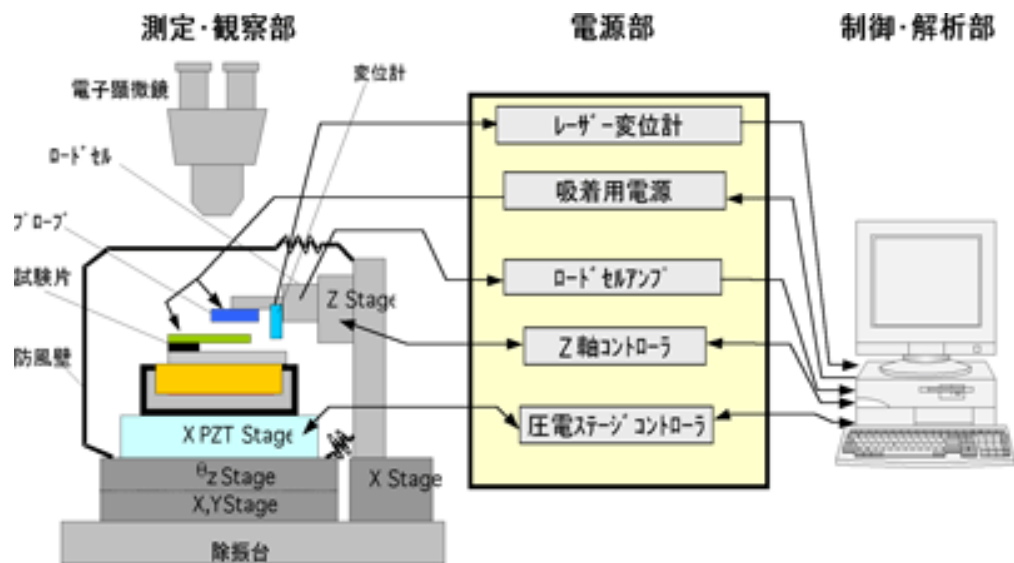


図 3-5-17 MEMS 材料用引張試験装置

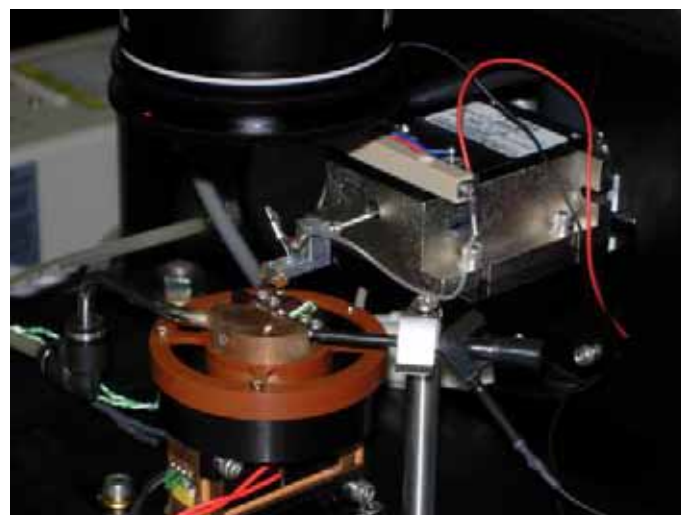
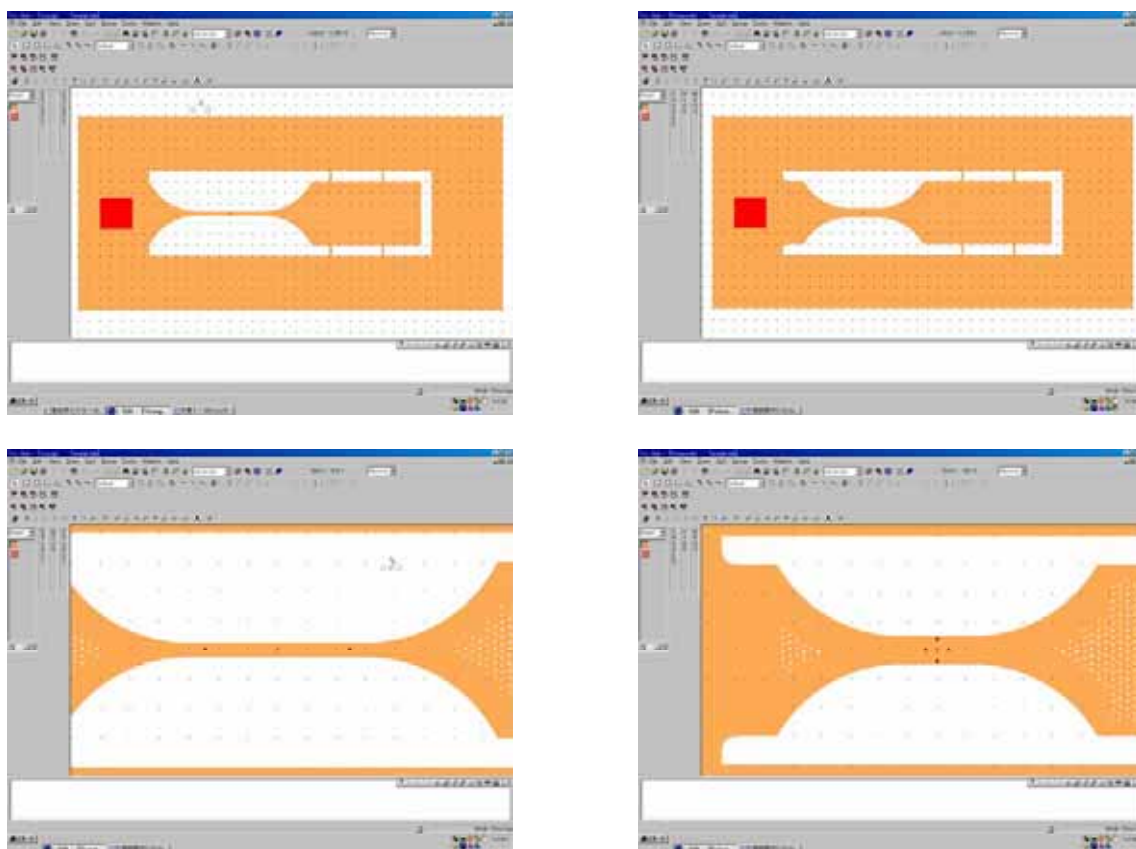


図 3-5-18 MEMS 材料用引張試験装置の主要部

次に、薄膜引張試験片（ヤング率測定用 1 種類，ポアソン比測定用 2 種類）を設計し，ファンドリー 1 社において同試験片を試作することにより，製造プロセス，試験片の材質・構造（犠牲層，標点，電極の材質等），形状・寸法の妥当性を検証した。

3 種類の薄膜引張試験片は，取り扱いとチャッキングを簡便にするために，Si 基板内の犠牲層の上に片持ち梁の形状に製作するように設計している．3 種類の薄膜引張試験片は，基本的構造や膜厚，製造プロセスは同一であり，ヤング率やポアソン比を測定するための試験片平行部の寸法や標点のみを変更している．ヤング率測定用試験片は，試験片平行部の長さが 0.6mm，幅が 0.05mm（試験片肩部半径：0.5mm）であり，伸び測定用に 2 つの標点（ゲージレンジ：0.48mm）を有している．ポアソン比測定用試験片は 2 種類あり，

4つの標点を有している。2種類の試験片の内、試験片Aは試験片平行部の長さが0.25mm、幅が0.1mm（試験片肩部半径：0.5mm）であり、ゲージレングスは0.08mmである。試験片Bは試験片平行部の長さが0.5mm、幅が0.2mm（試験片肩部半径：0.5mm）であり、ゲージレングスは0.18mmである。図3-5-19に、ポリシリコン薄膜引張試験片の全体図と試験片平行部周辺の拡大図を示す。3種類の試験片には、静電チャックによりチャッキングを行うために電極を設けている。また、試験薄膜の残留応力による反り返りを防ぎ、チャッキングを簡便にするために、4本の梁がチャック部と試験片外枠をつないでいる。なお、試験片装着後にこれらの梁は切断されるので、荷重測定への梁の影響はない。



ヤング率測定用試験片

ポアソン比測定用試験片A

図 3-5-19 ポリシリコン薄膜引張試験片の CAD 図

設計した3種類のポリシリコン薄膜引張試験片の妥当性を検証するため、ファンドリー1社において試験片の試作を行った。試験薄膜が反り返らぬよう、低応力条件の膜を用いた。試作の結果、3種類の試験片の試験部が壊れることなく、試験片製作が可能であることがわかった。図3-5-20に、製作した試験片の顕微鏡写真を示す。

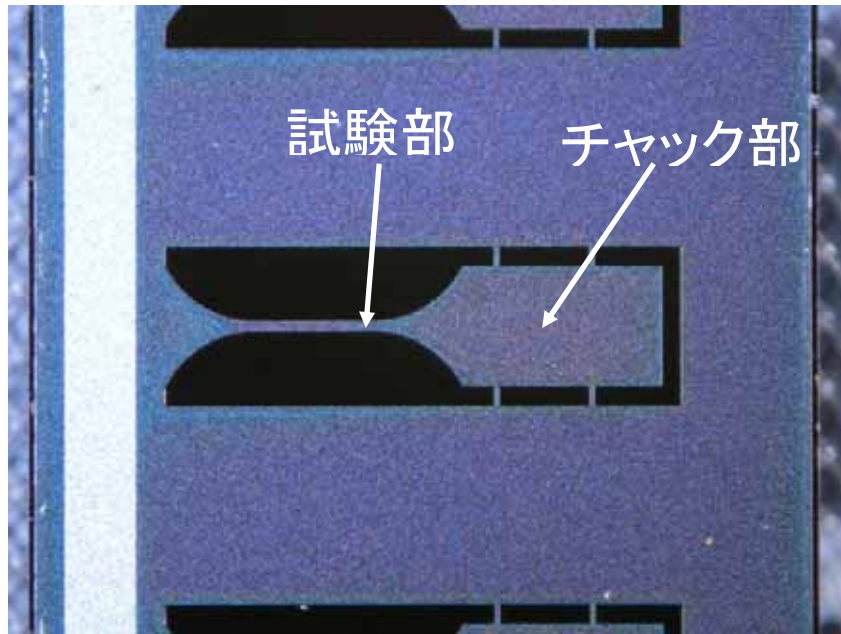


図 3-5-20 ファンドリーで製作したポリシリコン薄膜引張試験片

次に, MEMS 材料試験片の歪み測定を可能とするために開発した光学式歪み測定装置(微小変形評価装置)の概略について述べる. 開発した微小変形評価装置は, 光学顕微鏡, 高精細画像センサ, 及び実時間相関演算機能を有する画像処理装置を有している.

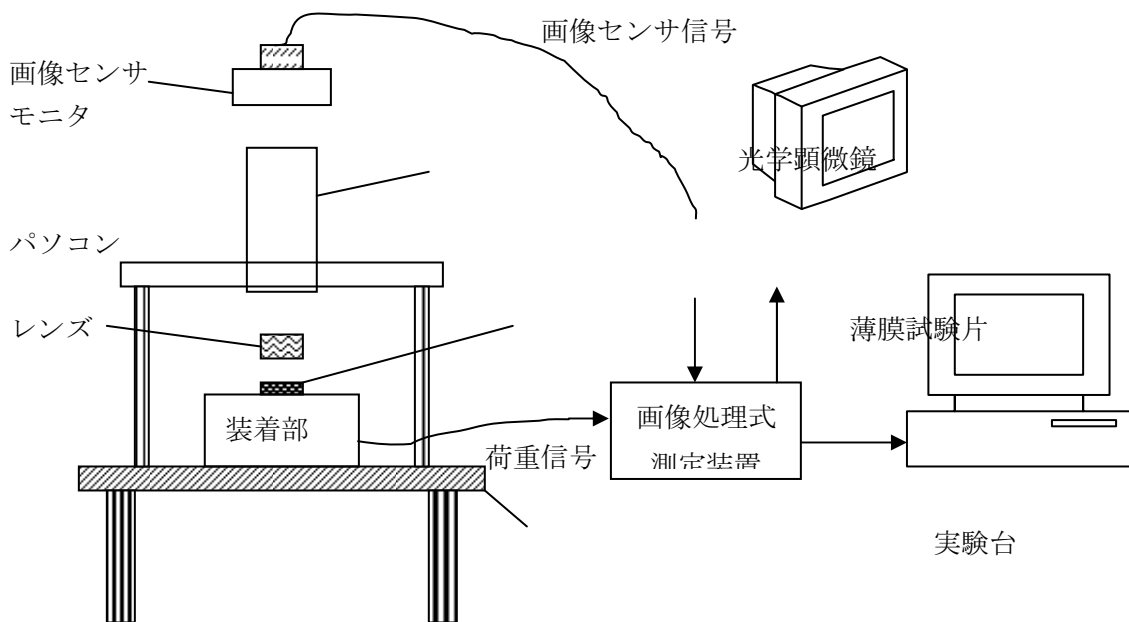


図 3-5-21 薄膜引張試験用光学式歪み測定装置のシステム構成概略図

図 3-5-21 及び図 3-5-22 に、光学式歪み測定装置のシステム構成概略図、及び、同歪み測定装置の主要構成要素である画像処理式測定装置の内部機能ブロック線図をそれぞれ示す。開発した歪み測定装置では、図 3-5-22 に示すように光学顕微鏡に歪み測定専用の高精細画像センサ（2048 画素×2048 画素）を取り付け、同画像センサの信号を、画像処理式測定装置に入力させるとともに、歪み測定装置を組み込んだ薄膜用引張試験装置の引張荷重測定用ロードセルの荷重信号を同期的に同画像処理式測定装置に入力させる。その結果、同画像処理式測定装置は画像データを処理し、処理結果をパーソナルコンピュータに出力して、同コンピュータにおいて MEMS 材料の応力-歪み曲線データやヤング率、ポアソン比を計算、表示して記録保存することが可能である。

薄膜引張試験用光学式歪み測定装置の主な仕様は以下のとおりである。

- ・歪み測定方式 試験片上の複数標点の相対変位測定（画像処理）
 最大 4 標点のリアルタイム位置計測が可能
 2 標点の相対変位測定→ヤング率測定用
 4 標点の相対変位測定→ポアソン比測定用
- ・画像処理方式： 並列型実時間画像処理
- ・多値化機能： 1/4 画素細分による位置測定が可能
- ・高精細画像センサ解像度： 2048 画素×2048 画素
- ・高精細画像センサ画素寸法： 12 μm×12 μm
- ・高精細画像センサ受光面積： 24.576 mm×24.576 mm
- ・測定速度： 4 回/秒
- ・同期入力機能： 歪み、荷重測定値の同期入力機能を有する
- ・ソフトウェア機能： 応力-歪み曲線の計算、グラフ表示、記録保存が可能
 ヤング率、ポアソン比の計算、記録保存が可能

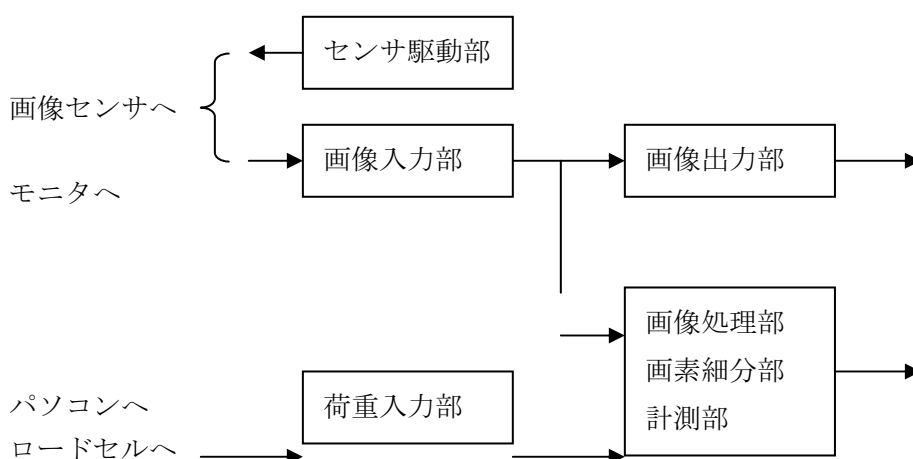


図 3-5-22 画像処理式測定装置の内部機能ブロック線図

開発した光学式（画像処理方式）の歪み測定装置（微小変形評価装置）において、リン

グ照明方式の光学系では試験片上に製作した標点の画像を鮮明に撮像することができなかつたため、同装置の照明を同軸落射方式に改造した。MEMS ファンドリー1社で製作したポリシリコン薄膜試験片の標点画像を撮像した結果、標点を鮮明に撮像し、試験片の歪みを高精度で測定することが可能となった。また、薄膜試験片の反り返りが大きい場合には静電チャックによる保持が不安定であったため、低応力条件で成膜したポリシリコン薄膜を用いて試験片（ヤング率測定用1種類，ポアソン比測定用2種類，厚さ300nm）を製作した。以上の改良を行い，IECの薄膜引張試験法国際規格「Tensile testing methods of thin film materials」に基づき，ポリシリコン薄膜試験片の引張試験を行った。

② ドライエッチングプロセス

3ヶ所の国内MEMS ファンドリーでエッチング試作を行った試作ウェハについて，エッチングレート，側壁角度，マスク選択比，表面粗さの測定を行い，データベース化した。これに加え，産業技術総合研究所保有のドライエッチング（DRIE）装置により，非標準条件を含む複数のレシピでエッチングを行い，レシピによるエッチング特性の違いのデータを取得した。また，深堀でないRIE装置についてもレシピを変えたときのエッチング特性の違いについて多数の測定を行い，ドライエッチングシミュレータの基礎データとした。エッチングレートと側壁角度については，光学的3次元形状測定器を利用して加工形状を測定した。マスク膜厚の減りについては，光学的3次元形状測定器及び偏光解析型膜厚測定器を利用して膜厚を測定した。

・ DRIE 特性の測定

3箇所のファンドリーへ試作依頼した2種類のサンプル(熱酸化膜マスク及びポジ型フォトレジストマスク)についてデータ取得を行った。また，産総研で保有するDRIE装置を使用し，非標準条件を含む2種類のエッチングレシピ（レシピ1，レシピ2）でエッチングデータの測定を行った。

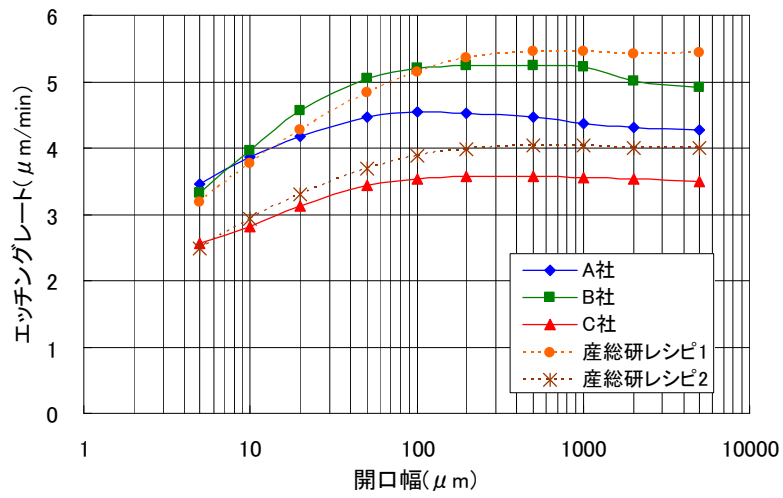


図 3-5-23 開口幅に対するエッチングレート測定結果 (フォトリソマスク)

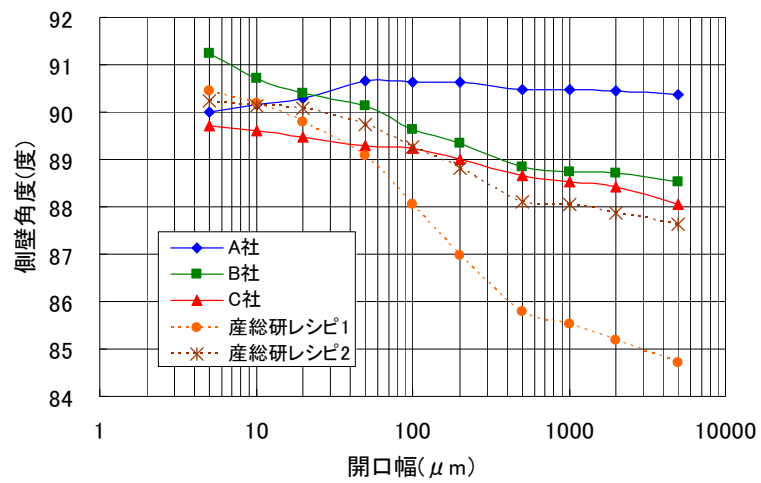


図 3-5-24 開口幅に対する側壁角度測定結果 (フォトリソマスク)

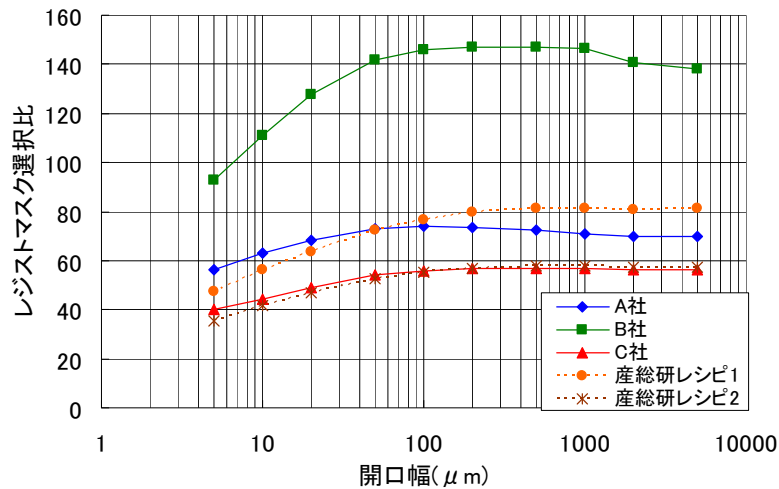


図 3-5-25 開口幅に対するマスク選択比測定結果 (フォトレジストマスク)

開口幅に対するエッチングレート測定結果のうちフォトレジスト膜マスクを用いた場合の結果を示す。データは、ウェハ内 5 点×ロット内 3 枚=15 点の平均を取ったものであり、ばらつきを示す標準偏差データも同時に得ることができた。図 3-5-23 にエッチングレート、図 3-5-24 に側壁角度、図 3-5-25 にマスク選択比の測定結果を示す。

これらの図より、ファンドリー試作および産総研レシピによる試作ではいずれも、大まかな傾向は類似しているものの、側壁角度やマスク選択比ではかなり違った特性が得られている場合もあることがわかった。

以上の測定データは材料・プロセスデータベースとともに、知識データベースにも登録された。これらは MEMS の設計を行ううえで重要なパラメータであり、試作・測定結果の例がデータベース化され、レシピによって変わりうることを示されることで、設計者にとって極めて価値の高い情報となると考えられる。

- ・ RIEにおけるプロセスパラメータ依存性の測定

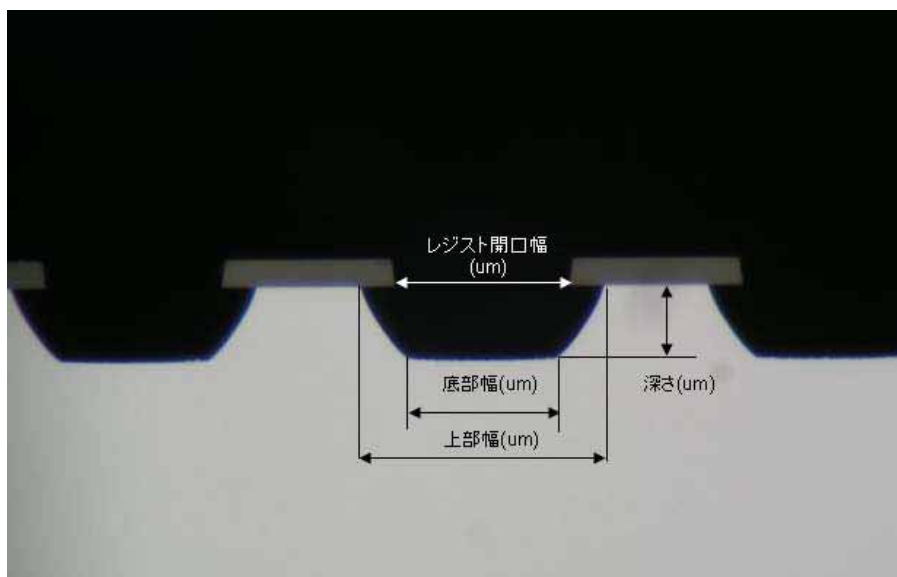


図 3-5-26 RIE プロファイル断面写真

MemsONE に搭載されるドライエッチングシミュレータ向けに、RIE 装置のプロセスパラメータを変化させたときの形状プロファイルの変化を示すため、産業技術総合研究所保有の RIE 装置で様々なパラメータでの試作を行い、形状を測定した。断面形状は図 3-5-26 のようになり、DRIE に比べると比較的大きなアンダーカットがある。この断面形状について、深さ、上部幅、底部幅を測定した。エッチング条件として、プロセスガス (SF₆) 流量を 20, 50, 100sccm の 3 条件、RF パワーを 25, 50, 100, 150 W の 4 条件、チャンバ圧力を 5, 15, 25 Pa の 3 条件と変え、合計 22 条件での試作・測定を行った。

測定したデータは、ドライエッチングシミュレータを構築するみずほ情報総研に提供された。これにより、ユーザはシミュレータ上で、ラジカル・イオン等の物理パラメータを自動的に設定できるようになる。

③ ウェットエッチングプロセス

国内 MEMS ファンドリーでエッチング試作を行った試作ウェハについて、(100)面のエッチングレート、<110>方向へのサイドエッチングレートおよびマスク選択比の測定を行った。また、エッチング底面の表面粗さについても測定を行った。

3 箇所のファンドリーへ試作依頼した 4 種類のサンプル(マスク材料として酸化膜及び窒化膜、エッチング液として KOH と TMAH)の全てのデータを取得した。図 3-5-27 に(100)面に対するエッチングレート測定結果を示す。データは、ウェハ内 5 点×ロット内 3 枚=15 点の平均を取ったものであり、ばらつきを示す標準偏差データも同時に得ることができた。同じエッチング液でも各ファンドリーによってエッチングレートは大きく異なり、エッチング液の温度や濃度の条件が大きく違うことが推測される。

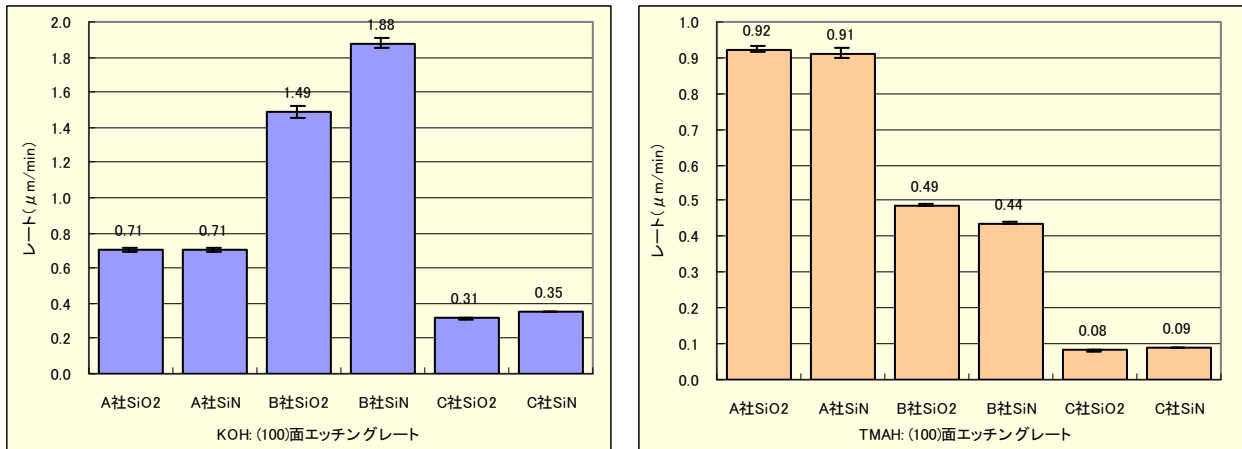


図 3-5-27 ウエットエッチング(100)面エッチングレート測定結果

図 3-5-28 に(100)面において、 $\langle 110 \rangle$ 方向に発生するサイドエッチングレートの測定結果を示す。サイドエッチングレートは、(100)面エッチングレートに対する比として示している。

図 3-5-29 にマスク膜厚の減少を測定した結果から換算したマスク選択比の測定結果を示す。図 3-5-29 にはマスク膜が SiO_2 、エッチング液が KOH の組合せのみを示した。これを除いてはマスク膜厚の減少は測定限界以下で、今回の試作のような浅いエッチングにおける膜厚減少は無視できることがわかる。ファンドリーによってマスク選択比は意外なほど大きく異なっており、これがエッチング条件の違いによるものか、マスク膜の質の違いによるものかは判断することができなかったが、ファンドリーによって違った結果が出ることを示された。

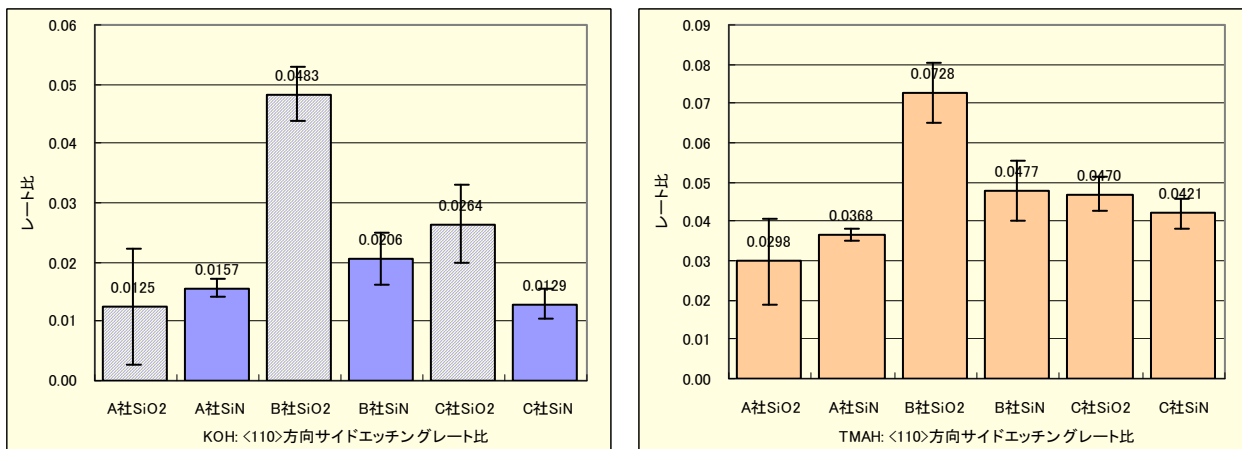


図 3-5-28 ウエットエッチング(100)面 $\langle 110 \rangle$ 方向サイドエッチングレート測定結果

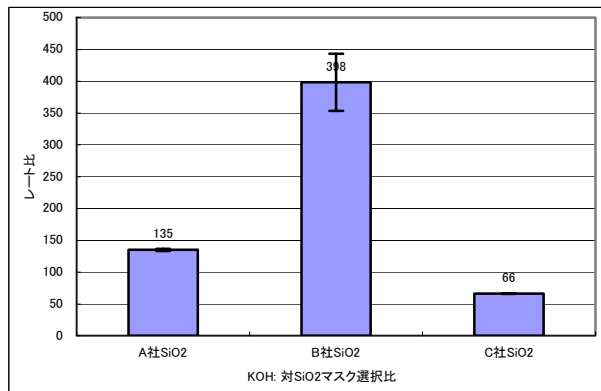


図 3-5-29 ウエットエッチング(100)面に対するマスク選択比測定結果

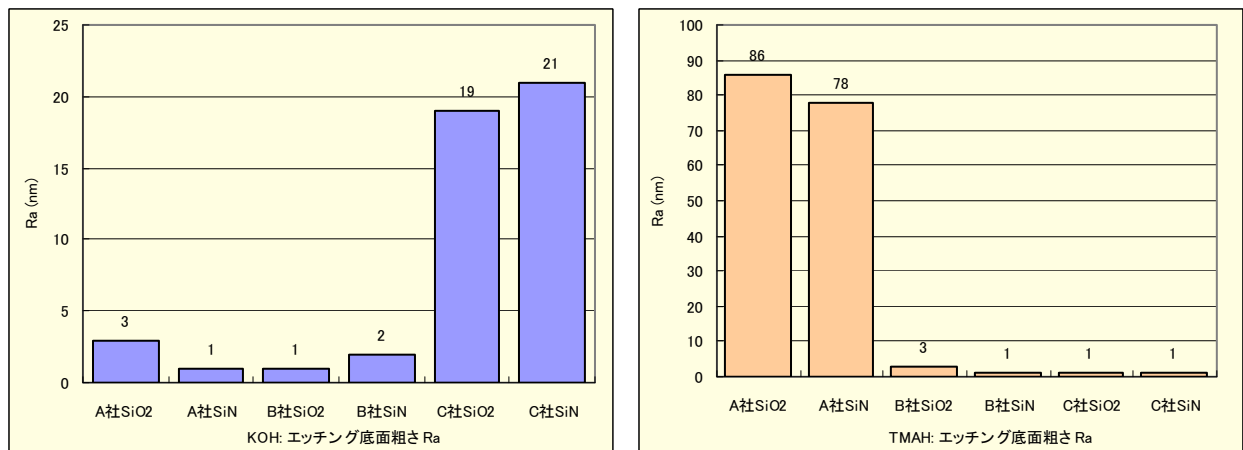


図 3-5-30 ウエットエッチング(100)面表面粗さの測定結果

図 3-5-30 に、エッチング底面の面粗さ測定結果を示す。エッチャントが KOH の場合は、C 社のみ波打ったような表面形状であり表面粗さが大きかった。TMAH の場合には、A 社のみピラミッド状突起が残り、大きな表面粗さとなった。これらはエッチング条件に起因することは間違いがないが、各社の条件は開示されていないため明確なことはわからない。

以上のように、ドライエッチングの場合と同様、各ファンドリーのエッチング結果には違いが見られ、試作を発注するユーザの立場からは興味深い結果となった。エッチング条件により試作結果は変化するため、このような条件の違いを MEMS 技術者に理解してもらう上でも、これらのデータは価値の高いものであると考えられる。

また、実際のファンドリーで行った試作結果であり、ばらつきなどのデータも含まれているため、これらの試作・測定結果の例がデータベース化されることにより、設計者にとって極めて価値の高い情報となると考えられる。

(3) 成果の意義

成膜材料の機械的特性の迅速測定および残留応力の測定では、計画されたすべての膜材料についてヤング率及び残留応力のデータを取得・蓄積した。これにより、解析システム用のデータベースの構築を完了した。また、構築されたデータベースは解析支援システムソフトウェアに収録された。成膜材料の機械的特性及び残留応力データの提供によりシミュレーションソフトの解析精度が向上し、MEMS 開発の効率化・短時間化が可能となるものと期待される。

エッチングデータの取得においては、実際に国内ファンドリーで試作したドライエッチング、ウェットエッチングの結果や、そのレシピ依存性をデータベース化することができた。これにより、MEMS 設計者がファンドリーを利用する際に、場合によっては必ずしも理想的なエッチング形状が得られないこと、そして条件・レシピ依存性の重要性を理解することが容易になり、現実の試作と設計との摺り合わせが容易になることで MEMS 開発の効率化が可能になるとともに、製造委託の増加にもつながると考えられる。

以上に加え、文献調査などにより、各種の材料物性データ及びプロセスデータを収集し、材料・プロセスデータベースに収録した。これらのデータは、解析ソフトの使用者、特にこれまで余り経験のない初心者によるソフトの使用を容易にし、MEMS 研究人材の育成と産業の裾野の拡大に大きく貢献するものと期待される。

3.5.2.2 計測・補間手法の確立

(1) 研究開発の概要

マイクロ弾性変形梁の信頼性はMEMSデバイスの長期動作信頼性を確保する上で重要な材料特性である。しかし、MEMSでは表面粗さなど加工方法の影響が大きく、また測定も困難なために十分な測定データが得られていない。そのため、高い加工精度を持ち、アクチュエータを組み込んだ試験片を製作するとともに、それらを並列で試験する手法を開発した。可動接点の信頼性予測手法の開発では、接触の評価に平行ばねカンチレバーを用いると、先端部の角度変化が単一ばねに比較して1/20に押さえられ、安定した繰り返し接触を行うことができる。そのようなカンチレバーを効率良く作製するために、厚板のカンチレバーを元にして、集束イオンビーム（FIB）加工とDRIEの組み合わせにより平行ばね構造を作製する方法を開発し、接触面積や環境が接触状態に与える影響を明らかにした。

(2) 成果の詳細

① 弾性変形梁の信頼性予測手法の開発

図3-5-31に本研究で開発した疲労試験デバイスの電子顕微鏡写真を示す。扇形の静電アクチュエータにより支点部分の試験片に繰り返し曲げ応力を印加することができる。試験片部分は国内ファンドリーの高精度なリソグラフィおよびエッチング加工で製作され、ばらつきが

極力生じにくいように考慮されている。

また，並列で疲労試験・データ収集を行うために，コンピュータで制御された発振制御回路を作製した．図3-5-32は並列試験ソフトウェアのユーザインターフェース画面であり，最大8個までの発振状態を確認しながらデータ取得が行える。

開発したシステムを用いて，温度23℃湿度50%RHおよび温度23℃湿度25%RHの2種類の環境条件下で疲労試験を行った．各条件で，振幅設定を変えることで，試験片に印加される歪（応力）が変化させられる．合計9条件，36個の試験片で疲労試験を行った結果，うち34個は 6.2×10^5 回～ 1.2×10^{10} 回の繰返しで遅れ破壊を示し，残り2個は 2.4×10^{10} 回（7日間）の繰返しでも破壊しなかった．このような高い繰返し数の疲労試験データが短期間に得られたことで，共振型試験デバイス，並列試験というコンセプトの有効性が証明された。

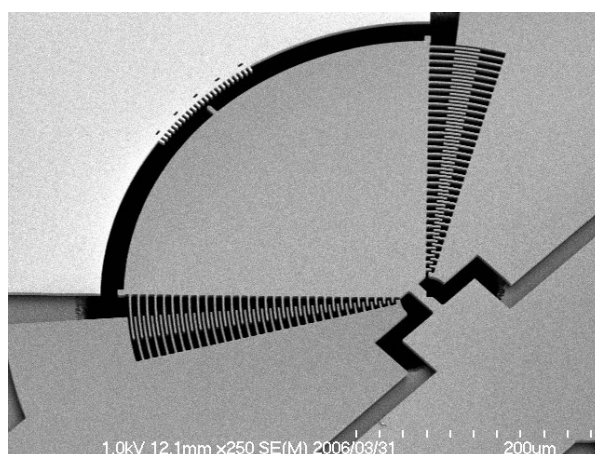


図3-5-31 国内ファクトリーで試作した疲労試験デバイス

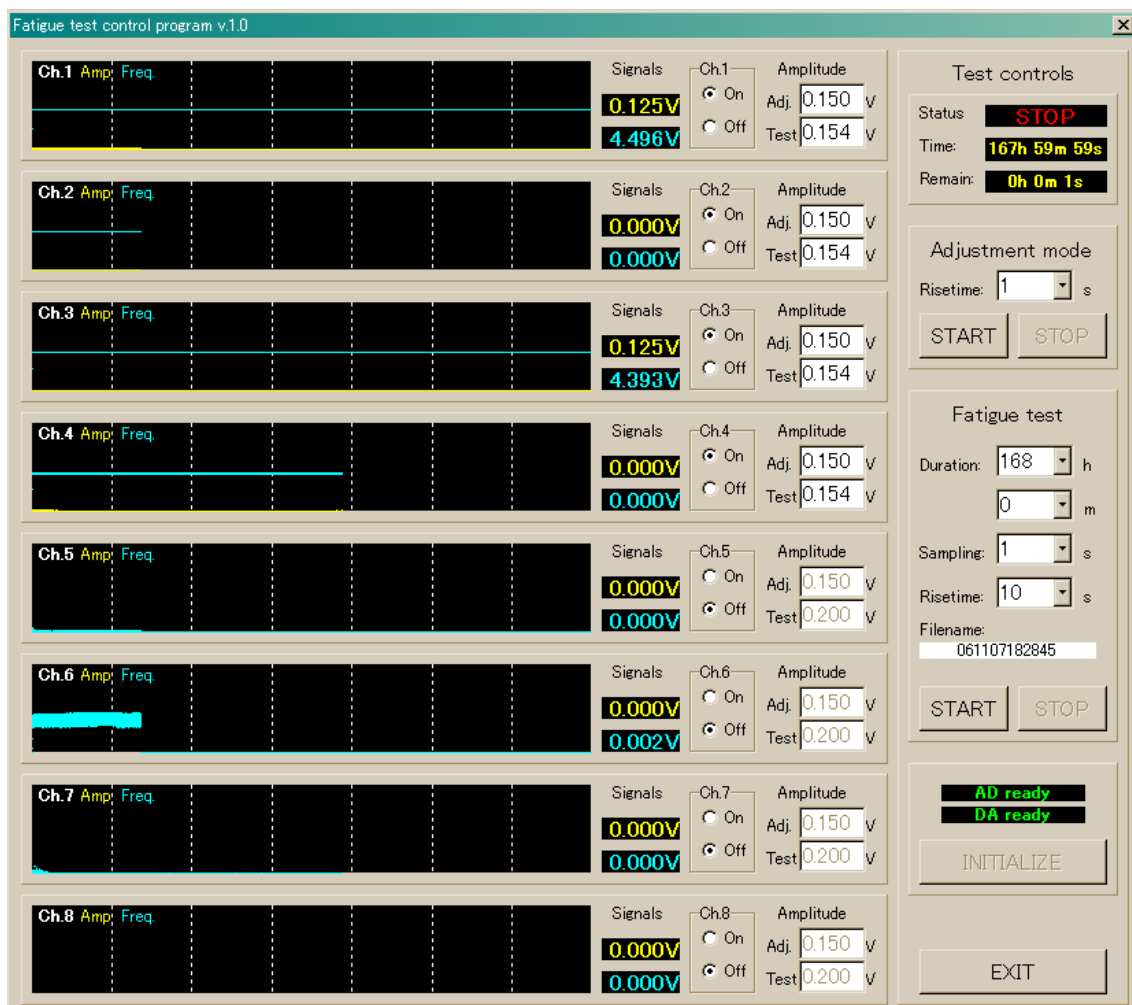


図3-5-32 並列疲労試験プログラム画面

疲労破壊した試験片の光学顕微鏡写真を図3-5-33に示す。このように、全ての疲労破壊は試験片のノッチ部分から起きていることが確認できた。

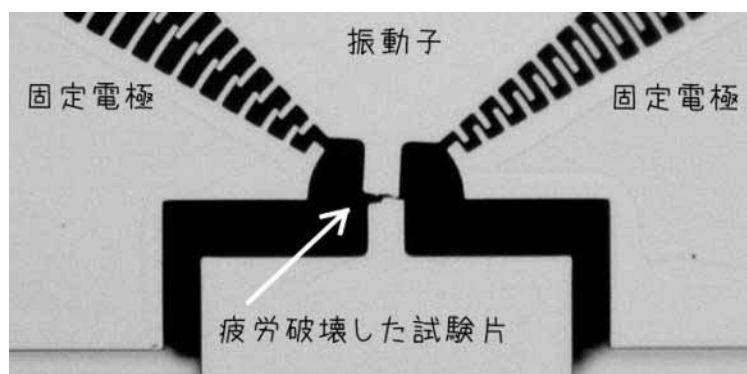


図3-5-33 疲労破壊した試験片の顕微鏡写真

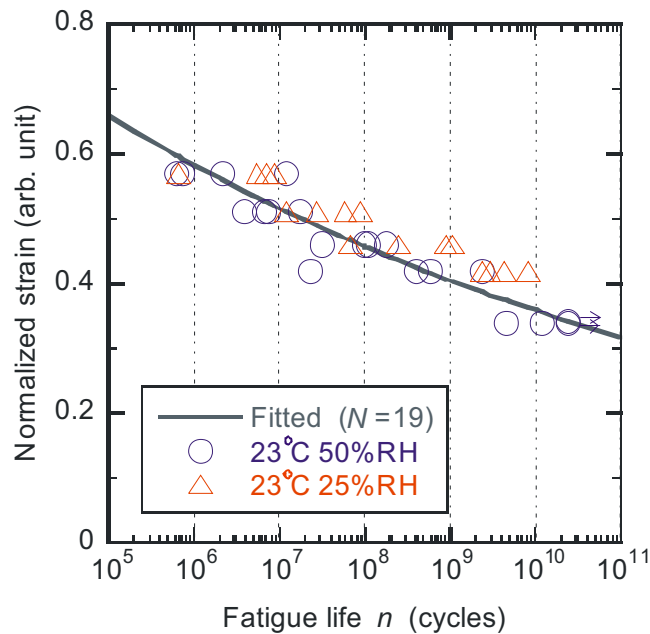


図3-5-34 疲労試験から得られた単結晶シリコンのS-Nカーブ

疲労破壊の起こる疲労寿命と、印加歪の関係をプロットしたものが図3-5-34である。図より、印加応力が低いほど、疲労寿命が長くなっている傾向がはっきりとうかがえる。また、湿度25%RHの疲労寿命は、湿度50%RHのときよりも数倍～10倍となっており、湿度の影響で疲労が進行するという説を裏付けるデータとなった。図3-5-34のデータは従来の疲労試験結果に比べると、非常にデータばらつきが小さい結果となっている。従来は疲労寿命が2～3桁の範囲でばらついていたが、今回得られたデータでは、ほぼ1桁のばらつきに収まっている。これは、国内ファンドリーの解像度の高い（ $0.6\mu\text{m}$ ）製造プロセスを利用できた効果が大きいと推測している。

湿度50%RHの測定結果から、Paris則を仮定してフィッティングを行った結果が、図3-5-34の実線である。測定結果はParis則によく乗り、クラック進展べき数は $N=19$ という値が得られた。このような確度が高い結果も、ばらつきが少ないデータが多数取れたために得られたもので、開発した疲労試験デバイスおよび疲労試験装置の有効性が確認できた。

以上の結果は、MemsONEの知識データベースを中心に収録された。

② 可動接点の信頼性予測手法の開発

・ FIB と DRIE を組み合わせた平行ばねカンチレバーの加工法

カンチレバーの側面からスリットを設けるため、ウェハから切り離された矩形のカンチレバーを酸化炉に入れて、表面にまず $0.3\mu\text{m}$ 程度の熱酸化膜を形成した。次に、FIB装置に入れ、スリットを空ける部分の酸化膜をスパッタリングで除去した。約 $300\mu\text{m} \times 17$

μm の範囲の酸化膜を除去するのに必要な加工時間は約 10 分であった。これは、カンチレバー全体を FIB で加工するのと比較して、1/100 程度の加工時間である。酸化膜を除去したカンチレバーは、サポートウェハ上にシリコンブロックを置き、その側面に貼り付けて固定し、ICP-DRIE 加工を行った。シリコンブロックのサイズ、加工条件を検討することで、図 3.5.2.2-5 に示すように、サポートウェハに対してほぼ鉛直に加工を行うことが可能となり、短時間で平行ばねカンチレバーを作製することが可能になった。

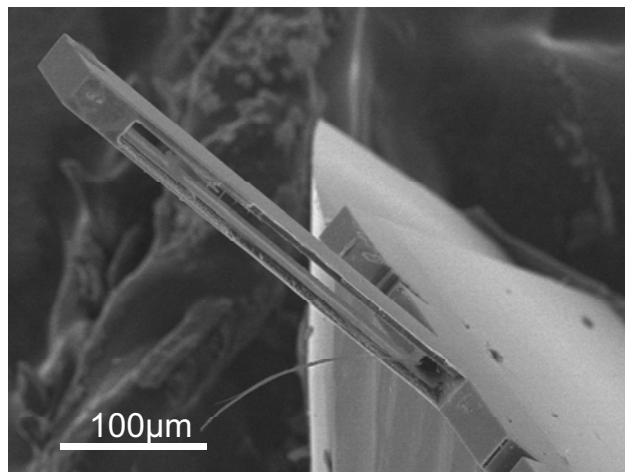


図 3-5-35 FIB と DRIE で加工した平行ばねカンチレバーの SEM 像

・ 接触面積と付着力の関係

接触点において、付着力が増加すると、必要なときに接点を離すことができなくなり、信頼性が大きく低下する。そこで、相対的なすべり距離と付着力の関係をまず調べた。走査型プローブ顕微鏡を利用して、接点に見立てた金の突起の上を平坦なプローブを有するカンチレバーで摩擦し、トータルの摩擦距離と、付着力の関係を調べた。その結果、摩擦距離の増加に伴い付着力が増加すること、微小振幅で摩擦したときの押しつけ荷重が高いほど、摩擦距離に対する付着力の増加の割合が大きくなることが明らかになった。このことから、長時間の動作を行ったときの可動接点の信頼性を維持するためには、相対すべりができるだけ発生しない機構を選択すること、相対すべりが生じる時には、必要以上に押しつけ力を大きくしないことが重要であることが示された。

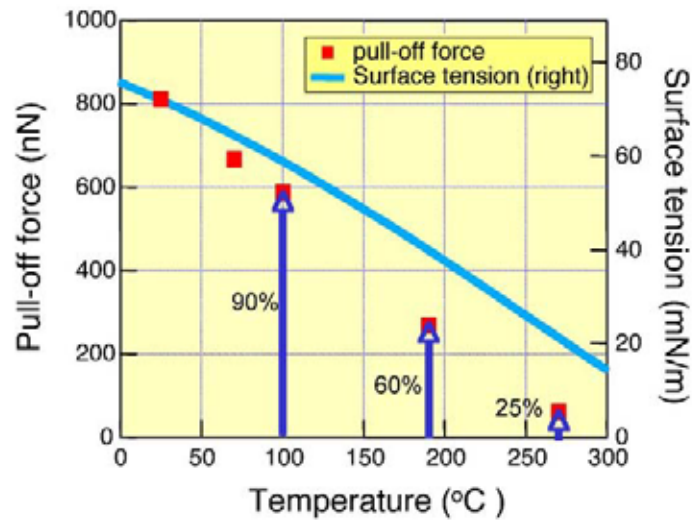


図 3-5-36 測定温度による付着力の変化

・ 環境による付着力の変化

走査型プローブ顕微鏡を利用して環境による付着力の変化を調べた。測定環境を、相対湿度 14%の窒素中、乾燥窒素中、 10^{-5}Pa の真空中と変化させて、平滑なシリコン面間に作用する付着力を測定したところ、測定環境による付着力の差はほとんど確認できなかった。しかし、シリコンを加熱すると図 3-5-36 に示すように温度とともに付着力が低下する傾向が認められ、特に 200°C 以上では付着力は大きく減少した。なお、一度付着力が低下すると、室温にもどしても一定時間は低い付着力が維持される傾向がうかがわれた。

(3) 成果の意義

マイクロ疲労試験については、MEMS 用材料として最もよく利用されているシリコンの疲労特性が明らかとなったことで、MEMS 設計において最も困難で検証に時間のかかる信頼性に関する解析精度が向上する。また、可動接点の信頼性予測手法の開発については、接点面積増加による接点信頼性の低下が微小な相対滑りによって加速することを明らかにし、平行ばねカンチレバーを利用した接点の信頼性試験法を確立したことで、可動接点の機構の評価を容易に行えるようになった。これらの成果により、従来は最終製品に近い状態にならなければ検討できなかった信頼性設計をより早い段階から取り込むことができ、プロトタイプの試作回数が短縮され、アイデアや着想を早く実現でき、それにより先行者利益を確保できると考えられる。

3.5.2.3 ナノインプリント加工・解析システムの開発

(1) 研究開発の概要

熱式ナノインプリントプロセスは、図 3-5-37 に示す工程から構成されるもので、良好なパターン転写を行うには、それぞれの工程において検討すべきパラメータがある。従来はこの各パラメータの最適化を実験で行っていたが、非効率的で実用的ではない。そこで本研究プロジェクトではこのプロセス最適化を解析システムで行うことを目的とした開発を行った。

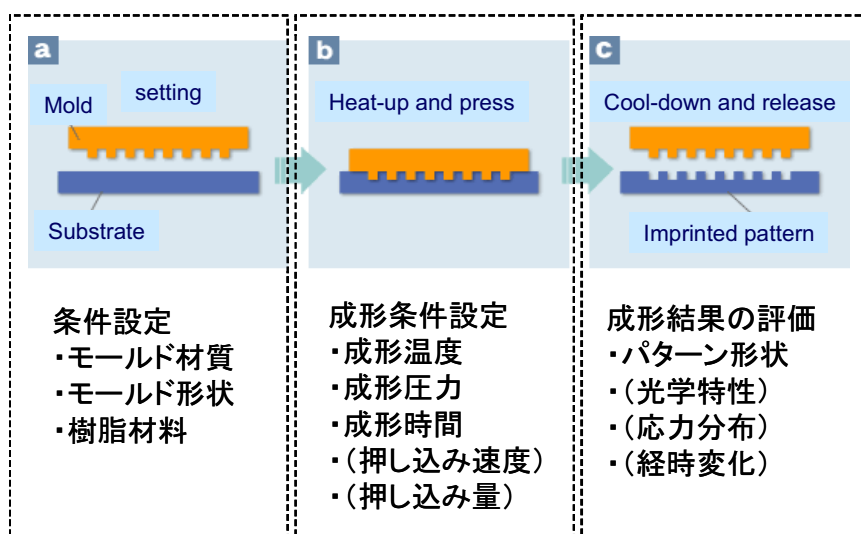


図 3-5-37 熱ナノインプリントプロセス工程図

ナノインプリント解析システムで、熱ナノインプリントプロセスの解析（プロセスシミュレーション）を行うに際して、成形加工する樹脂の物性値の把握が重要である。そのため、樹脂物性測定システムを導入し、樹脂の物性データを測定・収集した。このデータから、みずほ情報総研で開発する解析システムで使用するパラメータを抽出し、樹脂の物性データベースを構築した。加えて、樹脂の成形実験を行い形状データを取得した。解析システムによる結果の検証では成形途中での形状データが重要となるため、各種条件を検討の上パラメータをコントロールして成形を行った。以上により得られた材料物性データおよび成形実験データを用い、解析システムによる計算結果の検証を行った。

(2) 成果の詳細

① データベースの構築

a) 樹脂の粘弾性データの測定

樹脂の物性測定には、図 3-5-38 の粘弾性測定装置（フランス METRAVIB 社製，VA2000-SP）を使用した。装置の主な仕様を以下に示す。

測定周波数 : 0.001~200 Hz

最大荷重 : 100 N

最大振幅 : $\pm 6000 \mu\text{m}$

測定温度 : $-150\sim 450 \text{ }^\circ\text{C}$

本装置を用いて、ナノインプリントプロセスに一般的に適用されている、以下の樹脂の粘弾性特性を計測した。

- COP (シクロオレフィン)
- PMMA (アクリル)
- PET (ポリエチレンテレフタレート)
- PC (ポリカーボネート)



図 3-5-38 導入した粘弾性測定装置

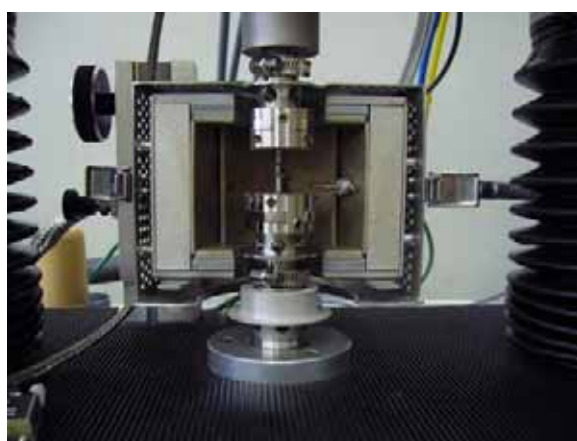


図 3-5-39 粘弾性測定装置の試料固定部

各樹脂を $40 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 程度に切り出し、図 3-5-39 の試料固定部に固定した。

加熱用の炉により温度を上昇させながら，各温度において引張圧縮の繰り返し変形を与え，樹脂の粘弾性（弾性率，位相遅れ等）の変形周波数依存性を測定した。

測定データの例として，COP の各温度での弾性率の加振周波数依存性を図 3-5-40 に示す。図中の貯蔵弾性率は，正弦波状の引張圧縮変形を与えたときの試料にかかる荷重の中で，変形と同位相の成分から求めた弾性率のことである。温度が上昇するに従って貯蔵弾性率は低下し，また同じ温度では変形の周波数が低いほど貯蔵弾性率は小さくなっている。

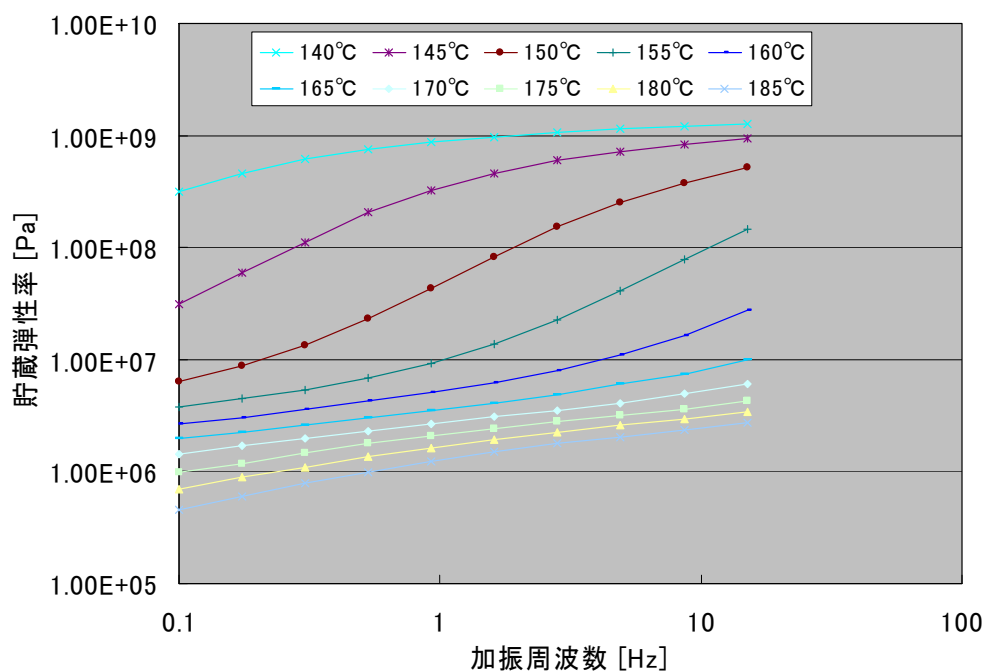


図 3-5-40 COP の各温度における貯蔵弾性率の測定データ

各温度での貯蔵弾性率の測定値を，WLF 則に基づくシフトファクター

$$\alpha = \exp\left(-\frac{C_1(T-T_0)}{C_2+(T-T_0)}\right)$$

を用いて，下記の関係により

$$E(f, T) = E(\alpha f, T_0)$$

基準温度 T_0 での仮想的な変形周波数のデータに変換し，図 3-5-41 に示すようなマスターカーブを得た。基準温度 T_0 は COP では 165°Cとし，各温度の測定値がスムーズに重ね合わされるように，パラメータ C_1 , C_2 を決定した。同様にして，その他の樹脂についても，弾性率の変形周波数依存性データを取得した。

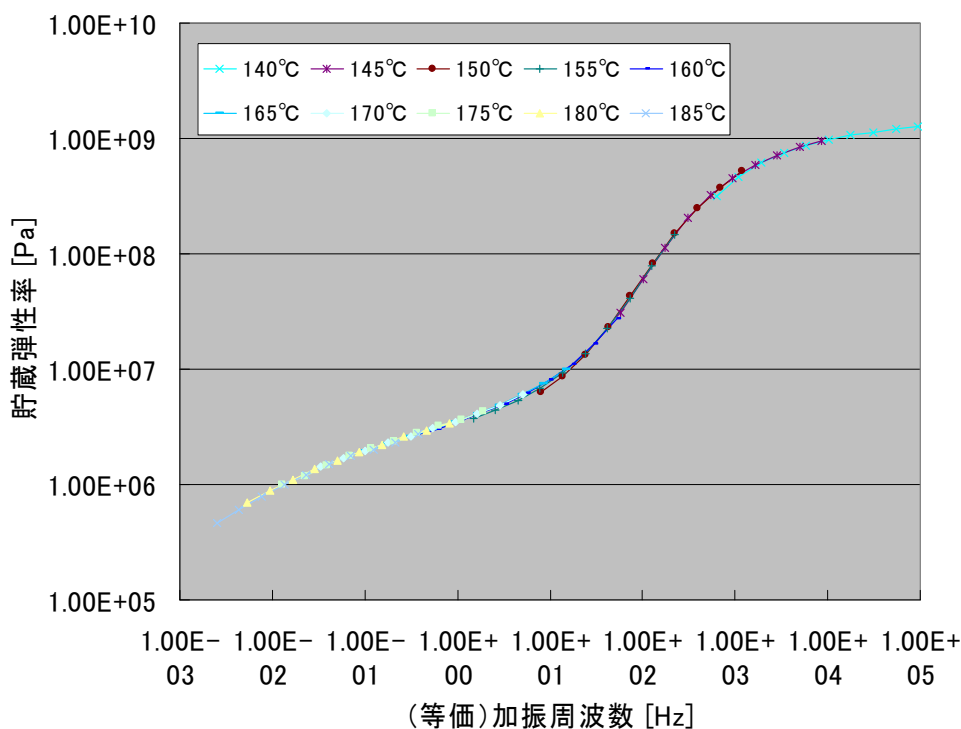


図 3-5-41 WLF 則により変換された 165°Cにおける仮想的な変形周波数での COP の貯蔵弾性率

b) 解析システム入力用データベースの構築

上記のように粘弾性測定装置で計測したデータから，樹脂物性値として解析システムに入力するパラメータである，WLF 則の基準温度 T_0 ，パラメータ C_1 ， C_2 ，長期ヤング率，および長期ポアソン比を算出した．それらの値を表 3-5-5 に示す．

表 3-5-5 各樹脂の粘弾性特性のパラメータ

樹脂	WLF 則： 基準温度	WLF 則： C1	WLF 則： C2	長期弾性率	長期ポアソン比
COP	165	17.5	75	4.606E+05	0.499965104545455
PMMA	140	13.6	65	1.215E+06	0.499936695833333
PET	110	12.7	69	4.991E+04	0.499995841105136
PC	180	15	60	3.270E+05	0.499977291666667

さらに，上記のマスターカーブから，各材料の横弾性率の緩和時間依存性を表すパラメータとして，解析システムが使用する無次元化横弾性率とその時定数を算出した．これらパラメータの算出には，みずほ情報総研の協力を得た．横弾性率の緩和曲線を一般化 Maxwell

モデルを用いて,

$$G(\tau) = G_{\infty} + \sum G_i \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_i}\right)$$

で近似出来るとする. ここで τ は温度の影響を考慮した換算時間であり, τ_i は級数の各項の緩和時間である. これを $\tau = 0$ での横弾性率 G_0 で除して無次元化した

$$g(\tau) = g_{\infty} + \sum g_i \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_i}\right)$$

を Prony 級数とよび, その係数 g_i が無次元化横弾性率である. 各樹脂について算出した無次元化横弾性率を, 時定数と共に表 3-5-6 に示す.

表 3-5-6 各樹脂の無次元化横弾性率

時定数 τ_i	無次元化横弾性率 (g_i)			
	COP	PMMA	PET	PC
1.00E-30	1.552575128285E-01	2.777378816576E-01	1.254484555498E-01	1.101876793414E-01
1.00E-25	1.552572982723E-01	2.777378801905E-01	1.254484555498E-01	1.101876793414E-01
1.00E-20	1.864936035211E-02	2.866910687599E-02	1.254484553988E-01	1.101876793386E-01
1.00E-15	1.864329934292E-02	2.588885938608E-02	3.833855440372E-02	9.079284674676E-02
1.00E-10	1.864352707244E-02	1.739395353637E-02	3.372566532712E-02	2.954479360501E-02
1.00E-09	1.866603964442E-02	1.654287700294E-02	3.772234515423E-02	3.327281297392E-02
1.00E-08	2.063043803304E-02	1.653777608467E-02	7.699387364151E-02	8.013501629854E-02
1.00E-07	3.295714890739E-02	1.696293984578E-02	1.546104114939E-01	1.045203983652E-01
1.00E-06	4.902571160041E-02	5.010587296064E-02	1.963725455643E-01	2.335856962345E-01
1.00E-05	1.064996358449E-01	1.126293863161E-01	7.963676339101E-02	9.009432976754E-02
1.00E-04	3.227131881582E-01	7.879153649835E-02	2.753806528143E-03	4.121399379807E-03
1.00E-03	7.877150029114E-02	6.748694231858E-02	8.901891024064E-04	1.392302189666E-03
1.00E-02	2.044078369122E-03	1.085107913201E-02	4.020864163772E-04	4.596163698533E-04
1.00E-01	1.123484423763E-03	1.469260104761E-03	6.412987913869E-04	2.007569200251E-04
1.00E+00	4.483717437610E-04	4.268613471429E-04	6.573747665876E-04	9.446098033144E-04
1.00E+01	4.589325314610E-04	1.617081761261E-04	8.490791315323E-04	2.512722133158E-04
1.00E+02	2.435912955165E-05	2.281203839587E-04	3.845901668740E-05	0.000000000000E+00
1.00E+03	0.000000000000E+00	4.045818234774E-05	0.000000000000E+00	0.000000000000E+00

これら測定データおよび, その他の樹脂の物性値を合わせて, ナノインプリント用樹脂材

料データベースを構築し、解析システムの情報データベースに収録した。

② 代表的樹脂に対する検証

a) 樹脂の熱ナノインプリント成形データの取得

ナノインプリント解析システムで解析した結果の妥当性を検証するために、ナノインプリント実験システムを構築し、そのシステムを用いてナノインプリントプロセスの成形データを取得した。以下に成果の詳細を示す。

成形実験には、エンジニアリングシステム（株）製 小型ナノインプリント装置 EMF-020-NI を使用した。装置の概観を図 3-5-42 に示す。

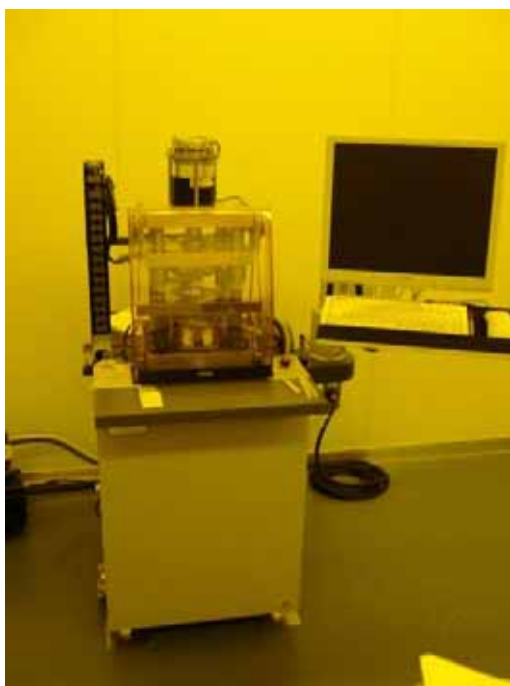


図 3-5-42 小型ナノインプリント装置

成形用型は、解析システムでの検証を容易にするため、単純な **Line&Space** の 2 次元形状とした。ナノインプリントプロセス検証のためには、成形途中の形状データを得ることが重要であるため、深さ $200\ \mu\text{m}$ で巾 $200\ \mu\text{m}$ の比較的大きな **Line&Space** パターンを持つ型を作製した。型材にはグラッシーカーボンを用い、ダイシングソーによりパターンを形成した。使用した型および成形後の樹脂の写真を図 3-5-43 に示す。また、成形実験の際の試料の位置関係を図 3-5-44 に示す。ヒータのサイズは $35\ \text{mm}$ 角であり、グラッシーカーボン製成形型は、 $20\times 20\times t3\ \text{mm}$ 、樹脂は $25\times 25\times t2\ \text{mm}$ のものを用いた。

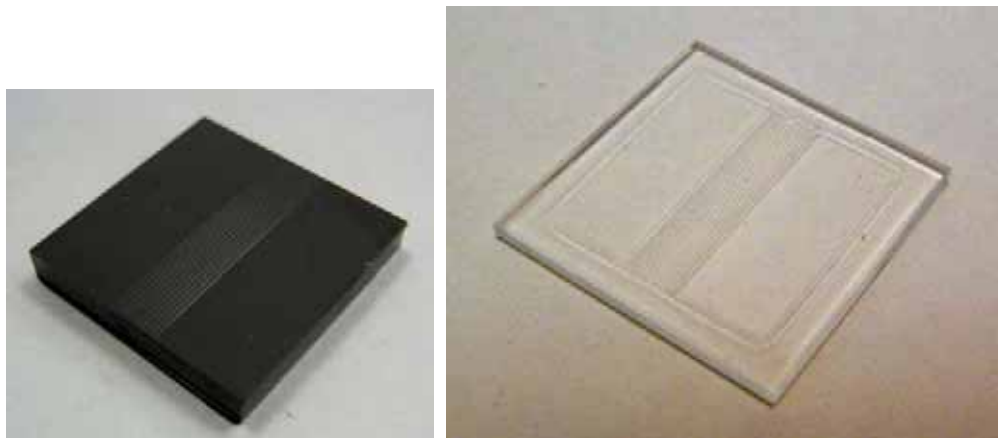


図 3-5-43 グラッシーカーボン製成形型（左）と成形後の樹脂（右）

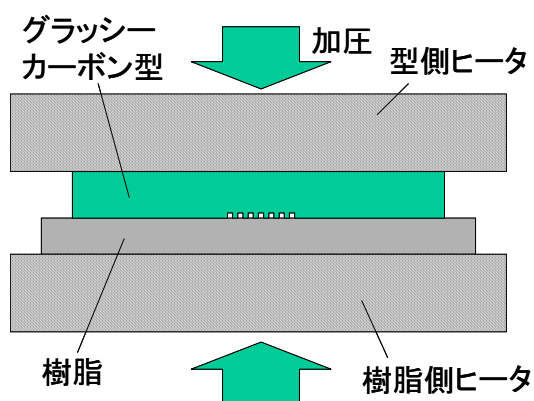
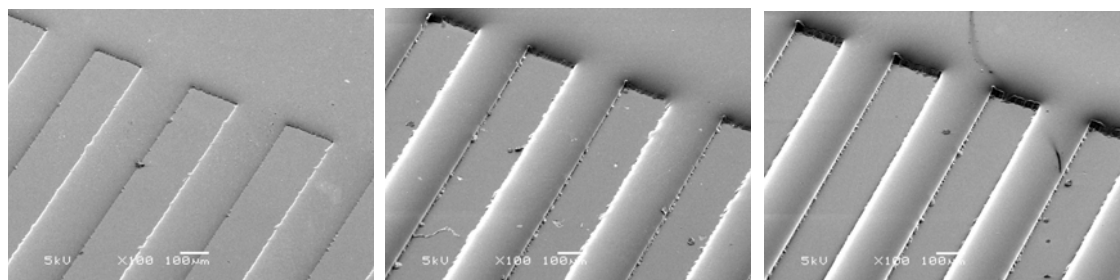


図 3-5-44 成形実験

ナノインプリントプロセスに一般的に用いられる樹脂（COP, PMMA）に対して，金型・樹脂基板加熱温度，加圧力，加圧保持時間などをパラメータとして変化させ，成形後の形状計測を行った．形状計測は，光学干渉計，表面粗さ計により行い，SEMにより形状を確認した．COP に対する測定結果の例を図 3-5-45 に示す．



保持時間 10sec

保持時間 30sec

保持時間 60sec

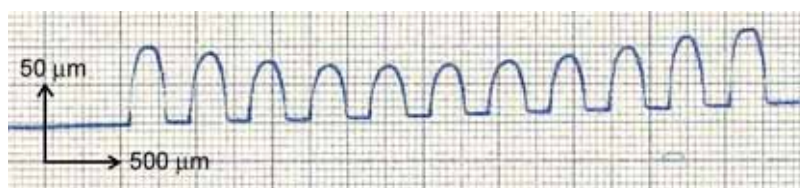
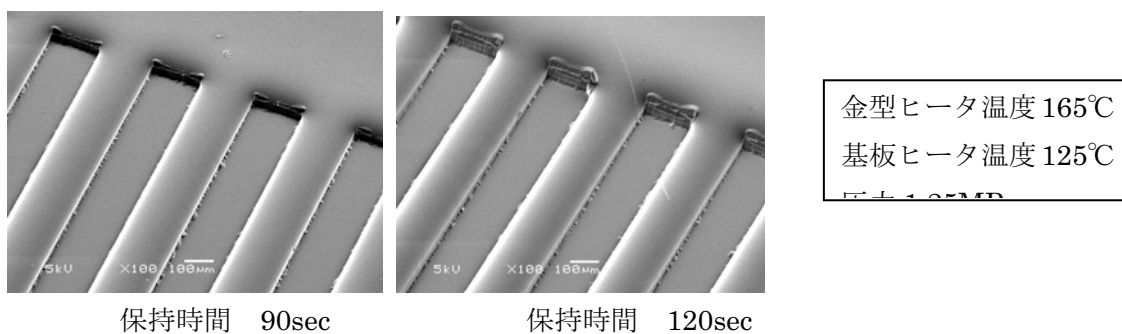


図 3-5-45 COP 成形実験の測定データ

さらに、COP および PMMA の成形実験結果をまとめたものを、図 3-5-46 から図 3-5-49 に示す。いずれも、加圧力および加圧保持時間の増加に伴い、変形量が増大していることがわかる。成形温度については、初めに実験条件を設定する段階で温度を変えた検討も行ったが、わずかの温度の違いにより大きく変形速度が変動、変形量の制御が困難であった。そのため、温度については最適と思われる条件に固定し、他のパラメータと変形量との関連についてデータを取得した。

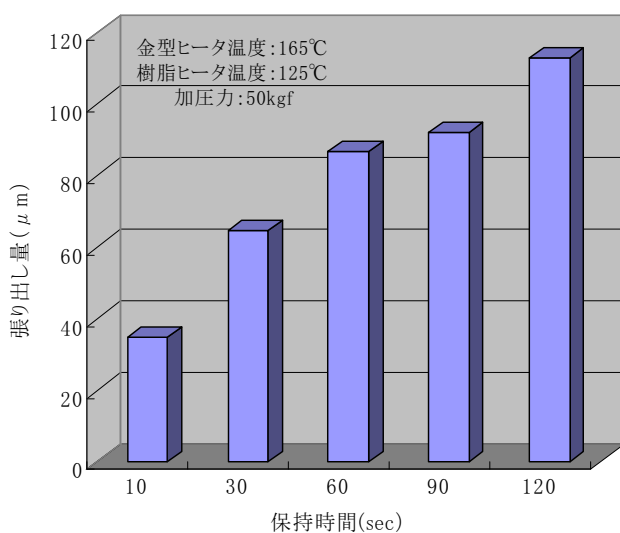


図 3-5-46 加圧保持時間と COP の変形量

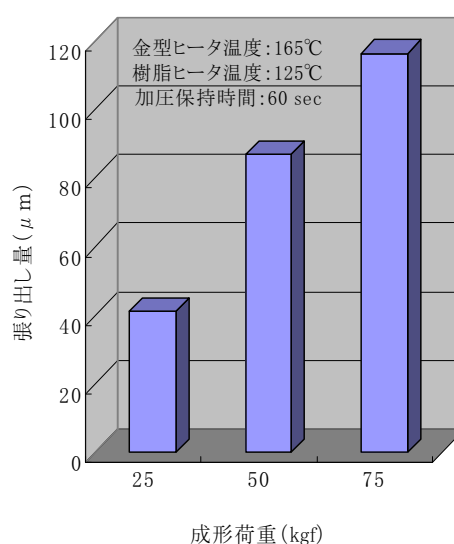


図 3-5-47 加圧力と COP の変形量

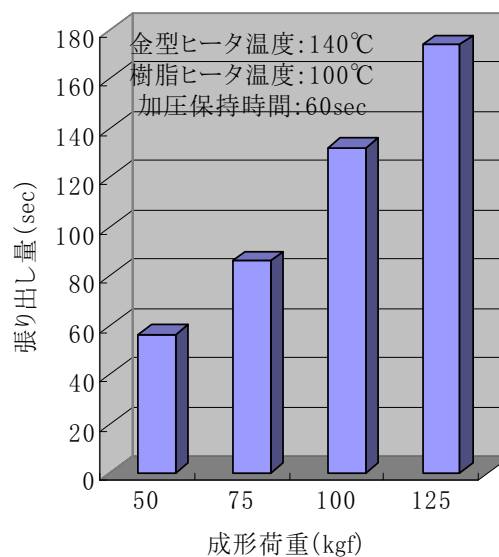
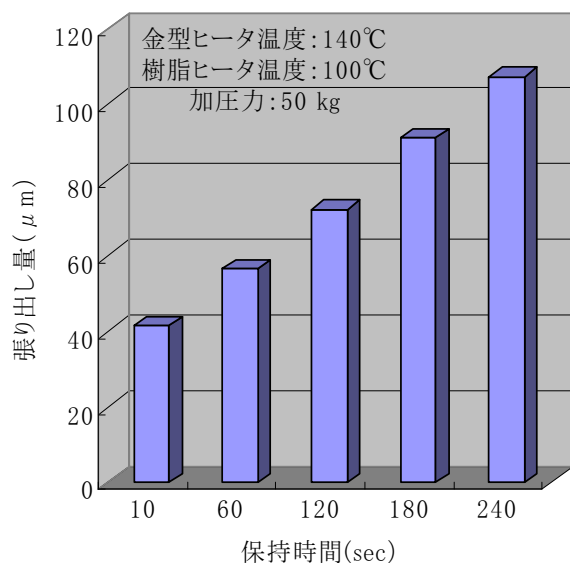


図 3-5-48 加圧保持時間と PMMA の変形量 図 3-5-49 加圧力と PMMA の変形量

以上のデータは、解析精度確認のためのデータとしてみずほ情報総研に送付すると共に、産総研に於いても解析結果との比較検討を行った。

b) 解析結果と実験結果の比較検討

測定された樹脂の材料特性パラメータを用いて、みずほ情報総研により開発されたナノインプリント解析システムにより、COP の成形過程を解析した。解析を実行するにあたっては、モデルの作成、解析条件の設定等でみずほ情報総研の協力を得た。

解析には、図 3-5-50 に示すようなメッシュおよびモデルを用いた。Line&Space の繰り返しパターンでの変形挙動を解析するため、対称性を利用して巾 200 μm の部分のみをモデルとした。また、型は剛体として計算を行ったため、樹脂に接触する部分以外は必要ないと判断し、実際の厚み 3 mm に対しモデルでは厚みを 400 μm とした。樹脂については、解析精度を確保するためには出来るだけメッシュを細かくしたいが、要素数が膨大となって計算時間が非常に長くなってしまう。そのため、型の深さが 200 μm であることを考慮して、実験での樹脂の厚み 2 mm に対し、モデルでは樹脂の厚みを 300 μm とした。また、エッジ部での不安定現象を避けるため、型のエッジ部に半径 20 μm の曲率を付けている。

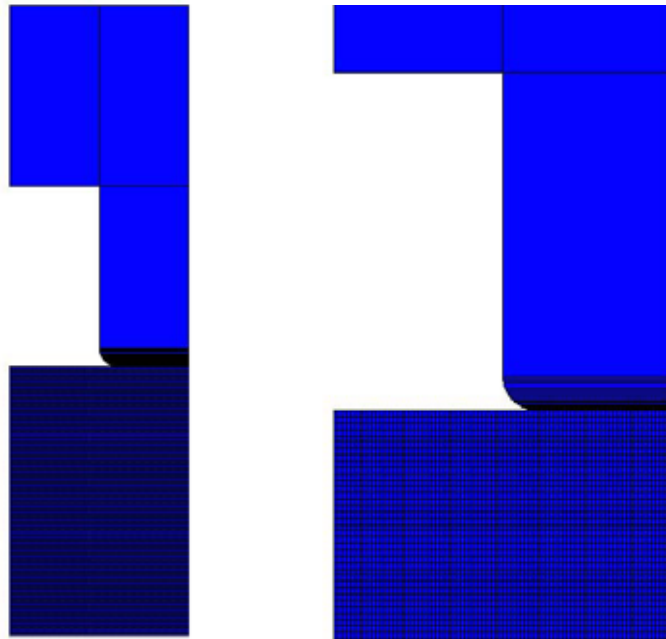


図 3-5-50 解析に用いた有限要素モデル（左）と接触部の拡大（右）

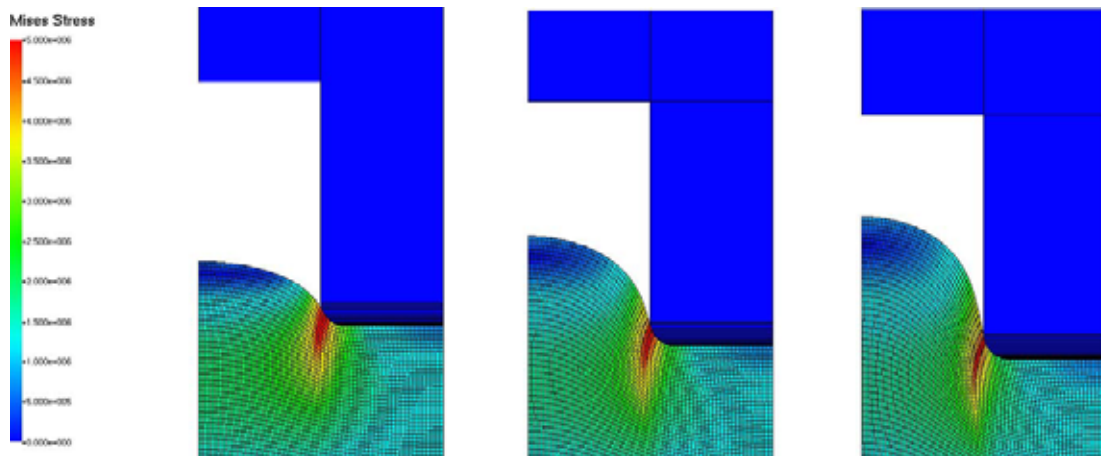


図 3-5-51 COP の変形過程のシミュレーション結果(左から保持時間 10 sec, 30sec, 60sec)

解析には表 3-5-5 および表 3-5-6 に示した COP の材料特性の測定値をパラメータとして用いた。成形実験では型の温度を樹脂の温度より高くして成形を行っている。このとき、実際に測定・制御されているのは、型および樹脂の外側にあるヒータの温度であり、実際に変形している部分の樹脂の温度はこれらヒータ温度とは当然異なっている。さらに、ヒータと型、型と樹脂、樹脂とヒータの間は接触による熱伝達境界となっているため、温度分布の正確な解析は困難であると判断した。そのため、加圧力 50 kgf, 加圧保持時間 60 sec での変形量が実験データと一致するよう、樹脂温度を 151℃としてその他の条件の解析結果への検討を行った。解析結果の一例を図 3-5-51 に示す。荷重保持時間が長くなるにつれて、

変形量が増大していることがわかる。さらに比較のため、 $\tau=0$ および $\tau=\infty$ での弾性率が同じで、緩和項が1項のみのモデルによる解析も行った。その際のパラメータとして、

$$\tau_1 = 0.05 \text{ sec}, g_1 = 0.99981389$$

を用いた。時定数 τ_1 は、やはり加圧力 50 kgf, 加圧保持時間 60 sec での変形量の解析結果が、実験値と一致するように決定した。

図 3-5-52 は、加圧保持時間と変形量の関係について、成形実験結果と解析システムによる計算結果を比較したものである。図中の棒グラフが実験データである。2種類の解析結果を比較すると、緩和項が1項のみのモデルでは時間が経過するのにはほぼ比例して変形量が増大していくのに対し、実測した材料特性に基づく一般化 Maxwell モデル（多項 Prony 級数）による解析では、短時間側で大きく変形が進み時間が経つにつれて変形が遅くなっている。成形実験のデータにも様々な誤差が含まれていることを考慮すれば、表 3-5-5 および表 3-5-6 の材料特性データによる一般化 Maxwell モデルを用いた解析結果は、実験結果をある程度予測出来るものとなっている。

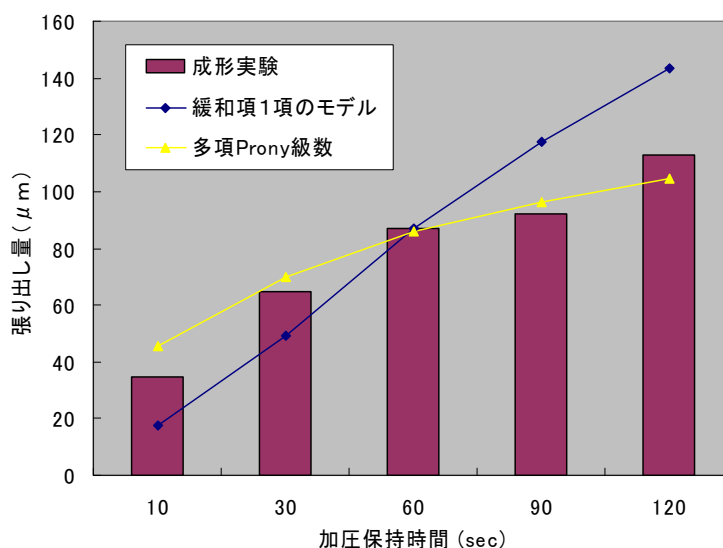


図 3-5-52 変形量への加圧保持時間の影響に関する成形実験および解析結果の比較

以上のように、測定された樹脂材料の粘弾性データを用いて、みずほ情報総研により開発されたナノインプリント解析システムで解析を行うことにより、数値解析結果は成形実験の結果とほぼ一致することが確認された。このことは、成形における各パラメータがインプリント結果に及ぼす影響を、開発された解析システムにより予測可能であることを示しており、本研究開発成果の有用性を示している。

(3) 成果の意義

ナノインプリント用樹脂材料の粘弾性特性のデータベース構築においては、代表的な樹脂である COP, PMMA, PET, PC についてデータの取得を完了した。これらからナノインプリント解析システムが必要とする材料パラメータを算出し、樹脂材料の物性データベースを構築すると共に、それらは解析システムのデータベースに収録された。解析システムの解析結果検証のための成形実験データの取得では、COP および PMMA について各種成形条件と変形量に関するデータを収集した。

取得した材料の粘弾性特性データを用いて、解析システムにより成形条件の影響を計算した結果は、実際の成形実験結果と実験誤差の範囲で良く一致した。このことから、開発された解析システムにより、各種パラメータが成形結果に及ぼす影響について予想可能であることが示され、解析システムの精度が検証された。

以上により、これまで実験的な試行錯誤により多大な労力と時間を要していた、ナノインプリントプロセスの各種条件の検討が、ソフトウェアによる解析からも可能となり、ナノインプリントプロセス開発の効率化が図られるものと期待される。

3.5.2.4 ナノインプリント用代表的樹脂のデータベース構築

(1) 研究開発の概要

熱ナノインプリントのプロセスシミュレーションに必要な材料データベースを構築するために、代表的なナノインプリント成形材料である各種の樹脂とガラス及び金型材料について、機械的・熱的物性値を計測評価し、材料データベースを構築した。

平成 17 年度の研究開発では、代表的成形材料として MEMS で多用される材料である PMMA とポリイミド (PI) の各薄膜及び低融点ガラスの薄板について、金型材料としては Ni 電鍍膜と Si 基板について、熱機械分析法、光てこ法、ナノインデンタ等を用いて、ヤング率、残留応力、及び熱膨張率データを採取した。

平成 18 年度の研究開発では、レジスト用成形材料として PMMA と PI を、光学素子用成形材料として低融点の SOG (Spin on Glass) 薄膜を、金型材料として Ni 電鍍膜と Si 基板を対象として、レーザ表面弾性波法、ナノインデンタ、光てこ法等を用いて、機械的・熱的物性データを採取した。本年度は特に複数種類の評価装置を用いて測定し、物性データの比較を実施した。また、これらの結果を材料データベースに組み込んだ。

(2) 成果の詳細

<平成 17 年度成果>

熱ナノインプリント用成形材料と金型材料についての機械的・熱的物性データを採取した。PMMA と PI については、Si 基板上にスピンコーティングと焼成により形成した試料を

用いて、ナノインデンタと触針法によりヤング率と残留応力を測定した。低融点ガラスと Si 基板については、ダイシングにより切り出した試料を用いて、熱機械分析法により熱膨張率を測定した。Ni 電鍍膜については、Si 基板上に形成した試料を用いて、ナノインデンタと光てこ法によりヤング率と内部応力を測定し、熱膨張率を算出した。なお、評価装置としては、(株)日立製作所が保有する触針式応力評価装置、及び外部解析機関の光てこ式応力評価装置、ナノインデンタ、及び熱機械分析装置を用いた。

表 3-5-7 に材料データベース評価内容をまとめて示す。

表 3-5-7 材料データベース評価内容 (平成 17 年度)

	素材	パラメータ	ヤング率	残留応力	熱膨張率
(1)薄膜	PMMA	膜厚 3 条件	ナノインデンタ	触針法	×
	PI	〃	〃	〃	×
	Ni 電鍍膜	電流密度 3 条件	〃	光てこ法	光てこ法
(2)薄板	低融点ガラス	パイレックス、石英	—	—	熱機械
	Si	方位 3 種類	—	—	分析法

【試験片形状】

(1)薄膜：コート材：直径 100mmSi 基板上、厚さ数 μm

(2)薄板：バルク材：幅 4 mm、長さ 25mm、厚さ 0.5mm

図 3-5-53 に金型材料として用いられる Ni 電鍍材のヤング率測定データを、図 3-5-54 に応力測定例を示す。Ni 電鍍膜のヤング率評価では基板の影響によるインデンタの押し込み深さ依存性が認められる。ヤング率と応力の測定結果から熱膨張率を算出すると、8~10 ppm/°C となり、バルク材の値 (13ppm/°C) に対し 3 割ほど低い値が得られた。

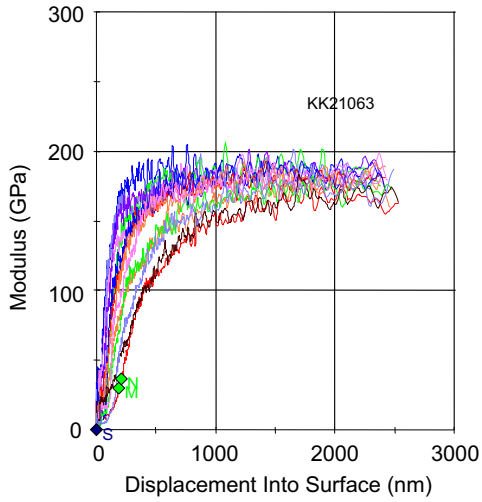


図 3-5-53 ナノインデンタによる
Ni 電鍍材のヤング率測定データ

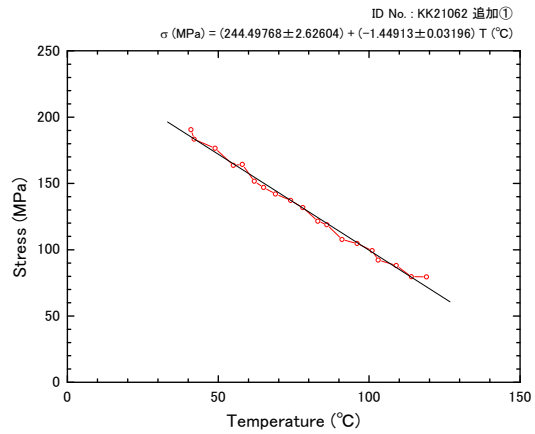


図 3-5-54 光てこ法による応力測定例

図 3-5-55 にガラスバルク材の熱膨張率を、図 3-5-56 に Si バルク材の熱膨張率を示す。パイレックスガラスでは、Si バルク材に近い数値が得られている。また、Si バルク材では、結晶方位による差異はほとんど認められなかった。

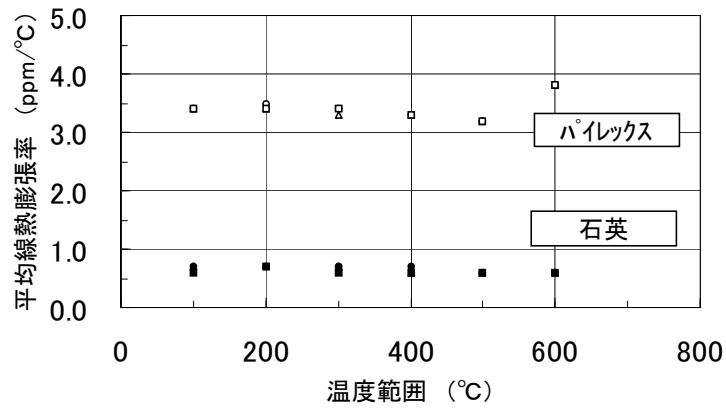


図 3-5-55 ガラスバルク材の熱膨張率

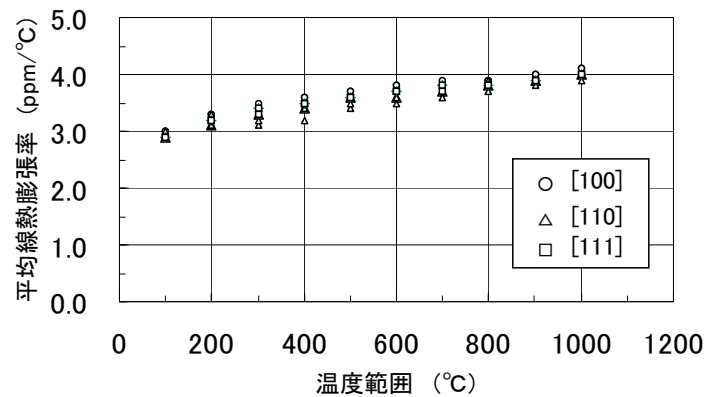


図 3-5-56 Si バルク材の熱膨張率

<平成 18 年度成果>

表 3-5-8 材料データベース評価内容（平成 18 年度）

	素材	パラメータ	ヤング率		残留応力	熱膨張率
			表面弾性波法	ナノインデント		
(1)薄膜	PMMA	膜厚	表面弾性波法	ナノインデント	—	—
	PI	〃	—	—	触針法	—
	Ni 電鍍膜	成膜条件	—	ナノインデント	光てこ法	光てこ法
	SOG	—	表面弾性波法	ナノインデント	—	—
(2)薄板	Si	(111)基板	表面弾性波法	—	—	—

表 3-5-9 に材料データベース評価結果を前年度分もまとめて示す。

熱ナノインプリント用成形材料と金型材料についての機械的・熱的物性データを採取した。表 3-5-8 に材料データベース評価内容をまとめて示す。PMMA と低融点ガラスについては、レーザ表面弾性波法とナノインデントによりヤング率を測定した。本年度は低融点ガラスの薄膜材として SOG 膜を対象とした。PI については、触針法により残留応力を測定した。Ni 電鍍膜については、複数の電鍍メーカーで成膜された薄膜に対し、ナノインデントと光てこ法を用いてヤング率と内部応力を測定し、熱膨張率を算出した。薄膜材は全て Si 基板にスピコート焼成あるいは電鍍により形成しており、厚さは数 μm 程度である。なお、評価装置としては、(独)産業技術総合研究所が構築した材料物性データ計測実験環境としてのレーザ表面弾性波法とナノインデント、(株)日立製作所が保有する評価装置である触針式応力評価、及び外部解析機関の光てこ法を用いた。

レーザ表面弾性波法は硬い弾性材料に適した評価法であるが、今回 PMMA 樹脂と SOG

焼成膜の評価に適用したところ、ナノインデンタ評価と同様の値が得られたので、有意なデータが得られていると考える。ただ、SOG については、ナノインデンタでは表面弾性波法の 1/2 程度のかかなり低い数値となった。この原因は、インデンタで材料を押し込んだ際に SOG が多孔質であるため変形が発生したのではないかと推測される。

光てこ法による Ni 電鍍膜の評価では、成膜するメーカーによって残留応力は大きく異なる結果となったが、ナノインデンタによるヤング率も約 2 割程度数値が異なり、それらの結果から算出される熱膨張率は 1 割程度の違いにとどまった。また数値自体は、バルク材の値 (13 ppm/°C) に対し 2~3 割低い値となった。この原因は、電鍍膜が多孔質になっているためと推測される。

得られた材料データは、MEMS-ONE の材料・プロセスデータベースに組み込んだ。

表 3-5-9 材料データベース評価結果まとめ

	材料	パラメータ	評価方法	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	密度 (10 ³ kg/m ³)	内部応力 (MPa)	熱膨張率 (ppm/°C)
薄 膜	PMMA	厚さ:0.4-0.9 μm	表面弾性波法	5.1-5.3	(0.3)*	(1.19)		
			ナノインデンタ	5.8-6.6	(0.3)			
	PI	厚さ:4 μm	触針式応力評価				46-48 (RT)	
	Ni電鍍膜A	厚さ:1 μm	光てこ法		(0.3)		40-110	9-11 (40-120°C)
			A社成膜	ナノインデンタ	200-220	(0.3)		
	Ni電鍍膜B	厚さ:1 μm	光てこ法		(0.3)		140-230	8-10 (40-120°C)
			B社成膜	ナノインデンタ	150-190	(0.3)		
	SOG	厚さ:0.3 μm	表面弾性波法	6.4-7.8	(0.3)	(1.4)		
100°C焼成			ナノインデンタ	2.9-3.1	(0.3)			
薄 板	パイレックスガラス		熱機械分析法					3.2-3.5 (RT-500°C)
	石英ガラス		同上					0.6-0.8 (RT-600°C)
	Si	(111)基板	表面弾性波法	181-182	(0.3)	(2.23)		
熱機械分析法							2.9-4.0 (RT-1000°C)	

* ()内の数値は、測定に必要な物性値で、バルク材の典型値を使用。

(3) 成果の意義

熱ナノインプリントのプロセスシミュレーションに必要な材料データベースを構築した。ナノインプリント成形材料を準備する場合に使用される薄膜プロセスにより形成した PMMA、PI (ポリイミド)、及び低融点ガラス薄膜を、また金型用成形材料として、Ni 電鍍膜、Si 基板を対象として、プロセスシミュレーションに必要な材料のヤング率、残留応力、及び熱膨張率のデータベースを構築した。また、評価対象材料に対して、ナノインデンタ、レーザ表面弾性波法、光てこ法、熱機械分析法等、複数の評価法を用いて測定し、データのばらつきも含めてデータベース化した。

3.6 成果の普及

(1)プロジェクト期間中における普及活動

MEMS 用設計・解析支援システム完成後の利用の拡大を促進する目的で、下記の広宣活動を実施した。この活動は、普及活動検討委員会と連携して実施したものである。

<H16 年度>

➤ Web 広宣、会員制クラブ

- ・「MemsONE ひろば」および「MemsONE クラブ」のホームページを開設した。
- ・MemsONE クラブ会員を募集し、400名の会員を集めた。
- ・MemsONE クラブ会員に、MemsONE ニュースを3回発信した。
- ・“開発者の声”と題したメッセージをプロジェクトメンバーから集め、MemsONE クラブ会員に3回発信した。また、併せて「MemsONE ひろば」に掲示した。

<H17 年度>

➤ Web 広宣、会員制クラブ

- ・H16 年度に引き続き“開発者の声”と題したメッセージをプロジェクトメンバーから集め、MemsONE クラブ会員に21回発信した。また、併せて「MemsONE ひろば」に掲示した。

➤ MEMS 関連展示会出展、成果発表会

- ・プロジェクトの中間期における成果発表を広宣活動の一環として開催し、MemsONE を広く紹介するとともに、ユーザ意見の収集と MemsONE クラブ会員募集を行った。H17 年度は 500 名弱の会員となっている。

本成果発表会はマイクロマシン展（2005.11.9～11.11）の場を利用して開催し、具体的には以下の内容で実施した。

- ・成果発表会（最終日の 11 月 11 日に開催）では、MemsONE の機能・特徴・活用方法デモを紹介し、この場において質疑応答およびアンケートによる情報収集と MemsONE クラブユーザを募った。
- ・マイクロマシン展では、ミラーデバイスの実物と解析例の展示、パネル展示、パンフレット配布を行い、プロジェクト終了後の普及に向けて MemsONE を広く紹介した。

以上のマイクロマシン展における成果は、成果発表会の参加者 215 名、アンケート回答者 93 名、新規 MEMS-ONE クラブユーザ 23 名、マイクロマシン展入場者はこれまで最高の 9000 名超であった。

➤ 「MEMS-ONE（メムスワン）」にて商標を取得

（財）マイクロマシンセンターにて MEMS-ONE（メムスワン）の商標を取得

<H18 年度>

特に、最終年度である平成 18 年度は重点的にイベントを実施し、MemsONE を広く紹介した。

➤ Web 広宣、会員制クラブ

- ・H17年度に引続き、MemsONE クラブ会員を募集し、会員数 800 名にまで拡大した。
会員にはプロジェクトの開発状況やリリース・イベント情報等を逐次配信した。

1) Web の活用

ホームページ「MemsONE ひろば」を逐次更新し、プロジェクトのトピックスや開発者の声、MemsONE 開発状況、α 版の配布計画・入手方法、α 版の申し込み受付・アップデート依頼、β 版の配布案内、などの情報発信および受信により、MemsONE を広く紹介するとともに、MemsONE ユーザの獲得を図った。



図 3-6-1 : MemsONE ひろば、MemsONE クラブ

来年度以降の普及活動においても、ホームページを活用した情報発信および受信は重要である。しかし、現状のホームページは、プロジェクトを中心に構成されているため、来年度以降の普及形態に合わせた一新が必要となる。

2) メーリングリストの活用

MemsONE クラブ会員用メーリングリストを活用して、会員の募集を図るとともに、プロジェクトのトピックスや開発者の声、MemsONE 開発状況、α 版の配布計画や入手方法などの情報を定期的に発信し、MemsONE ユーザの獲得を図った。

これらの活動から、MemsONE クラブ会員は前年度 200 名増の 800 名、α 版発行ライセンス数 400 を達成することができた。この獲得ユーザは、来年度に頒布する β 版のユーザとして、大きな期待が持たれている。

➤ MEMS 関連展示会出展、成果発表会

- ・成果発表会を開催して、MemsONE を広く紹介するとともに、ユーザの意見を収集し、プロジェクト成果 β 版への反映を図った。参加者は昨年を上回る 240 名と盛大であった。
- ・電気学会シンポジウム (高松)、関西設計製造ソリューション展 (大阪)、マイクロマシン展 (東京)、ナノテク 2006 (東京) に出展し、デモ、プレゼンテーション、ビデオ放映、パネル展示、パンフ

レット配布を行い MemsONE を広く紹介した。

▶ ビデオ制作

本ビデオは、11月に開催されるマイクロマシン展をターゲットに、普及活動検討委員会および事務局のメンバーが中心となって3ヶ月以上を掛けて制作したものである。構成は大別して下記3編からなる。媒体はDVDで、編毎または全編を連続的に放映することが可能である。

- 1) プロジェクトの紹介編
- 2) MemsONE 機能の紹介編
- 3) 運用サポート体制編

本ビデオは、マイクロマシン展、成果発表会、ナノテク 2007 で活用し、来場者の目を引く大きな効果があった。なお、本ビデオ制作に当たっては、来年度以降の普及事業での利用も視野に入れて編構成を行っているが、来年度以降の利用上、プロジェクトの紹介は不要であることや機能追加、運用サポートの具体化等に伴う一部修正が必要となる。

以下に、ビデオの一部を示す。



図 3-6-2 : ビデオの一部

▶ パンフレットの更新

平成 18 年度に機能の追加（回路集積化 MEMS シミュレータ）と体制の変更が生じたこと、前年度作成したパンフレットの在庫が無くなったことにより、内容の追加と全体見直しを行って、リニューアルした。

本パンフレットの更新は、10月初めに開催される電気学会シンポジウムをターゲットに作成し、以降

全てのイベントや説明資料として広く活用してきた。

本パンフレットは8ページ冊子となっており、表紙、狙い・体制、機能構成、機能の特徴等の内容で構成されている。以下にその一部を添付する。

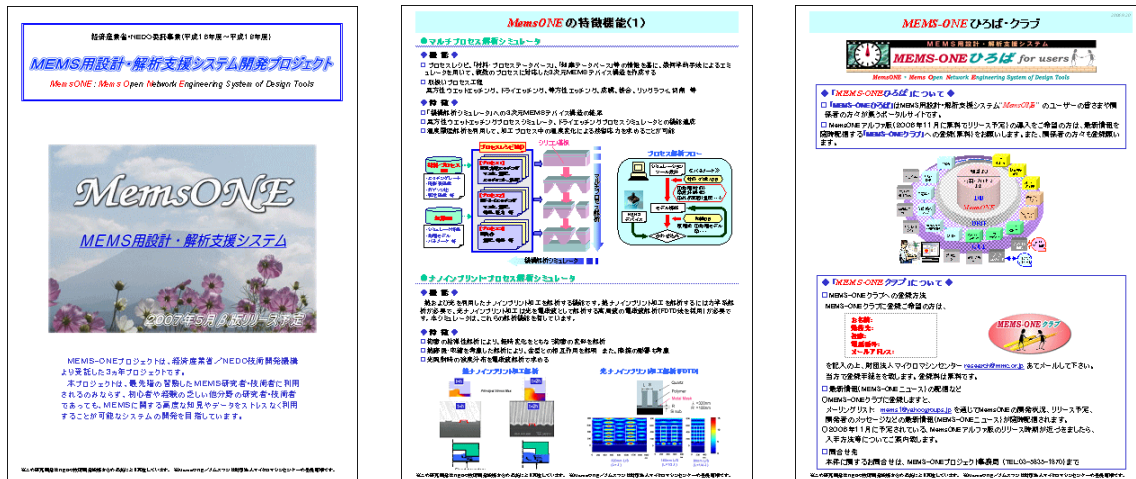


図 3-6-3 : パンフレット

このパンフレット以外に、機構解析、プロセス解析、ナノインプリント解析と言った機能毎に機能の詳細・特長・使用方法等を纏めたA4単体パンフレットを作成する予定であったが、対応できなかった。
β版以降の普及に向けては、このパンフレット作成が不可欠であろう。

➤ パネルの更新

パンフレットと同様に、平成18年度に機能の追加（回路集積化MEMSシミュレータ）と体制の変更が生じたため、内容追加と全体見直しを行って、A0版にリニューアルした。

本パネルの更新は、パンフレットと同様に10月初めに開催される電気学会シンポジウムをターゲットに作成し、以降全てのイベントで広く活用してきた。

本パネルは、プロジェクトの概要（狙い・体制等）、機能概要、機能の特徴の5枚構成となっている。以下にその一部を添付する。

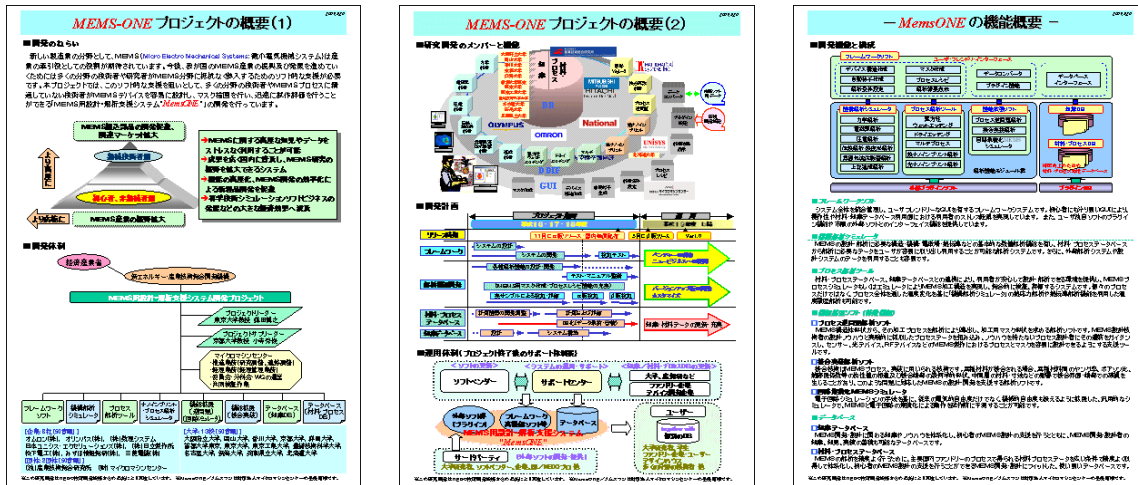


図 3-6-4 : パネル

今後の普及に向けて、関連イベントに出展し、広報活動するにはパネルが不可欠である。このため、来年度以降は機能紹介とサポート体制・方法に重きを置いたパネルに一新する必要がある。

➤ ソフトウェアのインフラ整備

成果物の配布に向けて、インフラ（マニュアル、ライセンスツール）の整備を行った。

MemsONE の不正コピーを防ぐため、ライセンスライブラリーの開発を行った。あわせて配布機関が容易にライセンスを発行するためのライセンス発行ツールの開発も行った。

MemsONE α 版及び β 版の配布時に、ユーザが容易に MemsONE を導入できるようにするため、

- ・ 簡易インストーラの開発
- ・ ライセンス申請・登録ツールの開発
- ・ 導入マニュアルの作成

を行った。

さらに、MemsONE を導入したユーザが即座に利用できるように、各機能のチュートリアルマニュアルを作成した。

これらのインフラは、ユーザが MemsONE を導入しようとした際に最初に接するものであり、今後の普及促進のためにはユーザからの要望の取り込みなどを行い、より良いものに更新していく必要がある。

(2)プロジェクト期間終了後の普及活動状況

➤ MemsONE β 版の配布

本プロジェクトの成果を広く普及させるため、2007年5月より MemsONE β 版（本プロジェクトにより開発したソフトウェア及び DB 一式）の配布を 10,000 円の実費にて開始した。今後の MemsONE 事業展開を勘案し、β 版の受付は 2007 年 12 月 31 日まで、MemsONE β 版の使用期限は 2008 年 3 月 31 日までとした。また、MemsONE β 版利用者からの意見・要望を収集し今後の普及に繋げるため、MemsONE β 版の申込者にはアンケートを同封した。

下表に示すとおり、2007 年 7 月 31 日現在でライセンス申込み数は 361 件である。2006 年 11 月より無料で配布した MemsONE α 版の発行ライセンス数が約 400 件であったことを考えると、有償であるにもかかわらず MEMS 技術者の MemsONE に対する期待は高く、普及も進んでいると言える。

表 3-6-1 : MemsONE β 版申込み状況 (2007 年 7 月 31 日現在)

	申込件数	ライセンス数	DVD 送付数	ライセンス発行数
5 月	9 7	2 0 0	—	—
6 月	7 0	1 1 3	2 7 0	1 1 5
7 月	3 7	4 8	6 2	8 8
合計	2 0 4	3 6 1	3 3 2	2 0 3

➤ MemsONE 実習講座・セミナーの開催

MemsONE を国内に広く普及させるためには、操作手順や解析手法の技術的な支援が不可欠である。そのため、東京大学と京都大学にご協力頂き、複数の PC (20 台程度) に MemsONE β 版をインストールした環境を準備し、実際に PC 上で MemsONE β 版を使って GUI 操作や解析手順を指導する「MemsONE 実習講座」を行っている。

開催期間は下表に示す通り 2007 年 7 月から 2008 年 1 月までであり、東京で 6 回、京都で 3 回を予定している。10 月までの前半はフレームワーク基本操作と解析ソフトの利用方法を指導する基本コースを開催し、後半の 11 月以降は一通り使いこなせる技術者を対象に解析ソフトを設計・研究に有効に活用する方法を指導する応用コースを開催する予定である。

表 3-6-2 : MemsONE 実習講座 開催スケジュール (予定)

	7 月	8 月	9 月	1 0 月	1 1 月	1 2 月	1 月
東京	—	基本コース 8/22	基本コース 9/14	基本コース 10/19	応用コース 11/16	応用コース 12/12	応用コース 1/18
京都	基本コース 7/19 (済)	—	基本コース 9/20	—	応用コース 11/15	—	—

基本コースは 13:00 から 17:30 までの 4 時間 30 分とし、実習を主体としたプログラムとした。以下に 7/19 に京都で行った実習講座のプログラムを示す。

MemsONE β 版実習講座 基本コースプログラム（京都）2007/07/19

主催：財団法人マイクロマシンセンター（MMC）

講師：日本ユニシス・エクセリューションズ株式会社（UEL）

みずほ情報総研株式会社（MHIR）

[開催場所]

京都大学 吉田キャンパス 工学研究科 物理系校舎205号室

アクセス：http://www.kyoto-u.ac.jp/access/kmap/map6r_y.htm

[参加者受付] 12:30~13:00

①教室の入り口で受付を行って下さい

②受付時に機の番号札と領収書を受け取って下さい

[基本コース（270分）：13:00~17:30]

[時間配分]

- | | |
|------------------------------|------|
| 1) 挨拶他（担当：MMC）..... | 10分 |
| ①開催の主旨、本日の予定 等 | |
| 2) MemsONEの基本操作（担当：UEL）..... | 105分 |
| ①デバイスCAD説明／実習 | |
| ②マスクCAD説明／実習 | |
| ③Q&A | |
| <休憩>..... | 10分 |
| 3) 連成解析入門（担当：UEL・MHIR）..... | 105分 |
| ①マルチプロセスエミュレータ | |
| ②モード解析 | |
| ③電解-構造連成解析 | |
| 4) 特徴機能の紹介（担当：UEL・MHIR）..... | 15分 |
| ①プロセス逆問題解析 | |
| ②回路シミュレータ | |

③熱・光ナノインプリント解析

④知識データベース

5) 質疑応答 (担当 : MMC・UEL・MHIR)..... 20分

6) ♪挨拶 (担当 : MMC)..... 5分

以上

7/19に京都で実施した MemsONE 実習講座には企業 19 名、学生 11 名の参加があり、MemsONE への期待が高いことが伺えた。実習講座終了後のアンケートでも「よく理解できた」等の回答が多く、成功裏に第 1 回の実習講座を終えることができた。実習講座の開催により、初期ユーザの理解度及び利用意欲が促進されており、今後の MemsONE 普及のためにも継続して実施していく必要がある。



図 3-6-5 : MemsONE 実習講座風景 (7/19 京都大学)

MemsONE 実習講座の開催に合わせて、実習講座テキスト (基本コース) の作成も行った。テキストは

- ・ フレームワーク基本操作説明書
- ・ 実習 : 連成解析入門

の 2 部構成とした。各テキストの内容の一部を以下に示す。

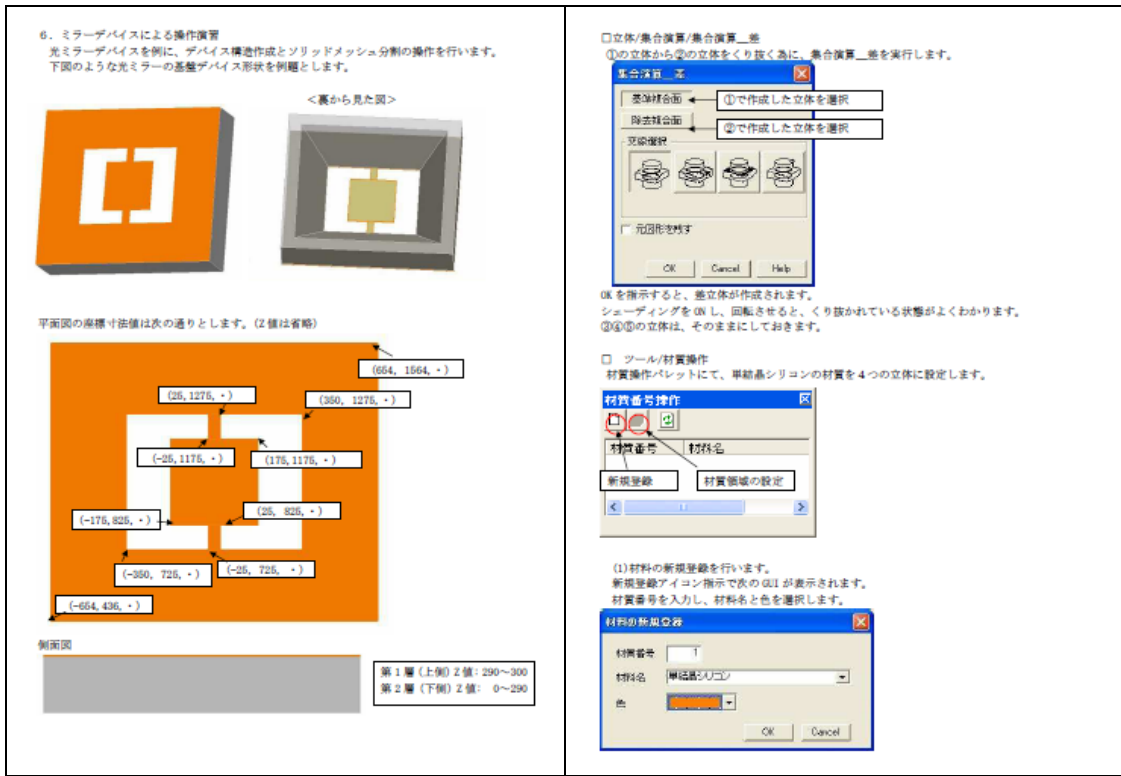


図 3-6-6 : フレームワーク基本操作説明書の抜粋



図 3-6-7 : 実習―連成解析入門の抜粋―

上で述べた MemsONE 実習講座は財団法人マイクロマシンセンターが主催したものだが、別機関が主催する講習会・セミナーを活用した普及活動も展開している。具体的には、NPO 法人 CAE 懇話会が主催する第 11 回中部 CAE 懇話会（開催日：2007 年 6 月 28 日）において、技術講習会として「初心者のための MemsONE 入門講習会」を実施した。本講習会には約 30 名の中部地区企業の技術者が参加し、MemsONE のインストールからフレームワークの基本操作、連成解析までの実習を行った。

更に、財団法人 神奈川科学技術アカデミー (KAST) 主催のセミナーで MemsONE 実習講座を予定しており、MemsONE 普及促進のための実習講座・セミナーを順次企画していく予定である。

➤ 広告宣伝用パネルの作成

プロジェクト成果物としてのβ版が完成したことを受け、実際の解析事例を記載する、MemsONE 実習講座の案内を掲載するなど、パネルの全体見直しを行った。

本パネルの更新は、7月に開催されたマイクロマシン/MEMS 展をターゲットに作成し、以降全てのイベントで広く活用する予定である。

本パネルは、プロジェクトの概要（狙い・体制等）及び MemsONE 実習講座の案内、機能概要、解析事例 2 枚の計 4 枚構成となっている。以下に作成したパネルを添付する。

MemsONE 成果普及事業の概要

事業目的と事業概要
MemsONE の普及を促進し実用化させるためには、事業開始後約 1~2 年間の初期活動が極めて重要で、このため成果普及事業により、広範囲の産業界・ユーザー層を効果的に浸透し、最終的に設計・開発支援ソフトウェアの新しい価値を得るとともに、産業界の認知度を向上させることと普及基盤の確立を目指します。

(1) 産業界への普及、ユーザー研修
(2) MemsONE の効果的な活用・導入の支援活動の推進、最新・ソフトウェアの提供
(3) 産業界の活用、ユーザー支援活動
(4) 普及のための効果的なプロモーション、異業種・他分野との連携による推進

普及体制

経済産業省、MEMS 普及推進機構
MEMS 普及推進機構と連携して産業界への普及活動を実施
産業界の活用促進、ユーザー支援活動
産業界の活用促進、ユーザー支援活動
産業界の活用促進、ユーザー支援活動

MemsONE の活用促進

MemsONE を日本国内に広く普及させるためには、標準的な解析手法の確立とユーザー教育が不可欠です。このため、産業界の MemsONE の活用を促進するためのセミナー・研修を開催し、産業界の MemsONE の活用を促進するための効果的な活動を行います。

開催期間
2007 年 7 月 ~ 2008 年 1 月迄

開催場所
東京：東京大学本郷キャンパス (1 日)
横浜：横浜国立大学キャンパス (1 日)

参加対象コース
基礎的な解析は基本コース、後半は応用コースを予定
<基本コース>
3D モデルの作成と解析ソフトウェアの活用方法を指導
<応用コース>
より高度な解析手法を解説し、解析ソフトウェアの設計・開発に関する活用方法を指導

MemsONE の機能概要

機能の構成

3D モデルの作成、3D モデルの解析、解析結果の可視化、解析結果の出力

機能の概要

3D モデルの作成、3D モデルの解析、解析結果の可視化、解析結果の出力

機能の概要

3D モデルの作成、3D モデルの解析、解析結果の可視化、解析結果の出力

MemsONE の解析事例(1)

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MemsONE の解析事例(2)

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

MEMS デバイスの解析結果を可視化するソフトウェアの活用

図 3.6-8 : 2007 年度新規作成パネル

今後の普及に向けて、関連イベントに出展し広報活動するにはパネルが不可欠である。このため、サポート体制・方法に重きを置いたパネルも追加で作成する必要がある。

▶ 展示会への出展

MEMS 技術者に対してプロジェクト成果物としての MemsONE β 版を広く認知させるため、展示会への出展も予定している。展示会ではパネル展示及びパンフレット配布を行うとともに、Note PC による MemsONE β 版のデモを行う予定である。また、MemsONE β 版の申込み用紙の配布も行う。2007 年度に出展を予定している展示会は以下のとおりである。

- ・ 2007/07/25～2007/07/27 マイクロマシン/MEMS 展
- ・ 2007/10/17～2007/10/18 電気学会センサーシンポジウム
- ・ 2007/11/28～2007/12/01 国際ロボット展
- ・ 2008/02/13～2008/02/15 Nanotech2008

上記以外にも可能な限り展示会への出展を企画していく予定である。

なお、2007/07/31 現在でマイクロマシン/MEMS 展への出展は終了した。同展示会への入場者数は過去最高の 12,424 人であり、MEMS 人口の拡大を反映していると言える。MemsONE の展示は（財）マイクロマシンセンターのブースの一角に設置し、今年度作成したパネル 4 枚の掲示、Note PC 2 台によるデモ、パンフレット及び MemsONE β 版申込書の配布を行った。パンフレットは用意した約 800 部を全て配布した。ブースでは α 版の利用者や β 版申込者による質問・デモ依頼が多数あり、MemsONE への期待が伺えた。展示会では、利用者からの意見・要望を直接的に収集できる、新規ユーザの開拓ができる、という利点がある。今後も展示会を利用した活動を展開し、MemsONE 普及促進を図っていくことが重要である。

▶ Web サイトの更新

MemsONE β 版の配布開始にあわせて、MemsONE ユーザサイト「MemsONE ひろば」の更新を行った。更新に当たっては以下の 5 つのウェブページを作成した。

- ① β 版お申込み
- ② β 版ライセンス申請
- ③ β 版サポート情報
- ④ 講習会案内
- ⑤ 掲示板

以下、各ウェブページについて簡単に述べる。

① β 版お申込み

MemsONE β 版の使用申込みを行うページである。ここで、申込者氏名、所属、連絡先、申込ライセンス数などを記入することとなる。確認画面に進み送信ボタンを押下することにより、MemsONE β 版

配布機関である（財）マイクロマシンセンターへの受付が完了する。

受付終了後、指定された金融機関への頒布費（税込 1 万円／ライセンス）振込みが確認されると MemsONE β 版一式が格納された DVD（顧客番号を記載）が発送される。

MemsONE β 版 使用申込書	
<small>MemsONE β 版のご使用をご希望の方は、[使用許諾条件書]をお読み頂き、全ての条件に同意される場合限り、お申し込み下さい。また、下記(注)をご一読下さい。</small>	
申込者氏名	<input type="text"/>
法人名	<input type="text"/>
所 属	<input type="text"/>
役 職	<input type="text"/>
住 所	〒 <input type="text"/> - <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
電話番号	<input type="text"/> (内線) <input type="text"/>
FAX番号	<input type="text"/>
E-mail	<input type="text"/> <small>(お手数ですが2回入力してください)</small>
ライセンス数	<input type="text"/>
ご質問等	<input type="text"/>
<input type="button" value="確認画面へ進む"/> <input type="button" value="入力内容をクリアする"/>	
<small>(注) ①ライセンス数は、導入を希望されるPC数をご記入して下さい。 ②使用の許諾は、申し込み内容を確認の上、メールにてご連絡致します。この際、使用が許諾された場合は頒布費の振込み方法も併せてご案内致します。 ③ソフトウェア媒体(1ライセンス/1媒体)は、頒布費(実費1万円[税込み])/ライセンス</small>	

図 3-6-9 : MemsONE β 版 使用申込

② β 版ライセンス申請

ユーザが MemsONE β 版をインストールした後に、ライセンスを申請するための手続きを記載したページである。ライセンス申請方法は以下の通りである。

MemsONE β 版をインストールするとライセンスツールを起動できるようになり、license_info ファイルを出力できる。このファイルを（財）マイクロマシンセンターに送付するとライセンスファイル (license_key) が返送される。このファイルをライセンスツールで読み込むことにより、MemsONE のライセンスが発行されたこととなる。

【β版ライセンス申請手続きのお知らせ】

平成19年7月2日
MemsONE β版のお申し込み有難うございました。β版のご利用に当たっては、ライセンスの申請が必要です。下記の申請手順に沿って手続きをお願いします。

■β版のライセンス申請時の注意事項
β版をインストール後、ライセンスツールで「license_info」ファイルを作成し、下記の内容で「license_info」ファイルをメールにて送付下さい。
なお、申請の際は下記ルールを参照の上、お間違え無きようお願いいたします。

(1) 件名: 件名は「ライセンスの申請」として下さい(自動設定されない場合)、
(2) 添付: 添付は、license_infoファイルを送付して下さい。
尚、license_infoファイルを送付済みの場合は、ファイル名に必ず顧客番号を付けて下さい。
(3) メール本文のテキスト記載前には、下記の内容を記載して下さい。
① 顧客番号(0の0の欄のシリアルに記載の0以外の数字: 様式可)
② 法人名(使用申込時の法人名を記載)
③ 申込者名(使用申込時の申込者名を記載)
④ ライセンス数(添付ファイル数: 通常は1)
⑤ 講習会希望(実習講座への参加希望有無・参加場所を記載)
(4) 上記(3)での注意事項
・ 法人名、申込者名は使用申込時の申込者名を記載下さい。
・ ライセンス数は通常1ですが、複数送付する場合は、その数を記載下さい。
・ 講習会希望には、実習講座への参加希望をお知らせ下さい。
講習会は、実習講座(有付)とセミナー(無付)を別個と関西で複数回予定しており、開催場所やスケジュール等については別途ご案内致します。

■β版のライセンス申請例
下記を参考に [こちらから](#) [\[ms\]](#) (mems1-user@memc.or.jp) 申請して下さい。

■お問合せ先
和信法人マイクロマシンセンター MEMSシステム開発センター
担当: 水津 (E-mail: mems1-user@memc.or.jp)

図 3-6-10 : β版ライセンス申請手続き

③ β版サポート情報

MemsONE β版ユーザに対して、アップデート情報やフリーソフト情報を知らせるページである。特に MemsONE β版のアップデート情報は主にバグフィックス用のパッチの配布に利用されており、ユーザの関心が最も高い情報である。アップデート情報を定期的に発信し、ユーザが安心して MemsONE を利用できる環境を構築することが今後の普及促進には不可欠である。

サポート情報のお知らせ

MemsONE ユーザに対する、アップデート情報やフリーソフト情報をお知らせするコーナーです。これらの情報は発生毎に随時ご案内致します。

【β版アップデート情報のお知らせ】

No	公開日	分野	パッチ管理名	修正内容	リンク先
1	2007/7/30	フレームワークパッチ	patchB1.0.FW.01	①機構解析の解析条件実行時にCADがダウンする不具合の対策 ②マスクCADのGDSデータ読み込み時のエラー対策	こちら

【インストール時の補充ツール情報のお知らせ】

No	公開日	ファイル名	ツールの内容	リンク先
1	2007/8/2	j2re-1.4.2_12-windows-i586-p	JAVA.1.4.2.12	こちら

【フリーソフト情報のお知らせ】

No	公開日	分野	提供先	ソフトの内容	リンク先
1	2007/7/30	プロセス	名古屋大学 佐藤一雄教授	シリコン3方位のエッチング速度早見表(鳥瞰図ソフト)	こちら

図 3-6-11 : サポート情報のお知らせ

④ 講習会案内

MemsONE β版を広く普及させユーザに利用方法を習得してもらうため、MemsONE β版実習講座を7月より開始した。本ページで実習講座の開催案内(日程、会場、費用等)を行っている。

前述の通り、実習講座は MemsONE の普及促進に非常に有効である。実習講座の開催案内をウェブに掲載するのみならず、関連メーリングリスト等を利用した広範囲に渡る宣伝を行うことが、MemsONE の普及促進に繋がるであろう。

講習会のお知らせ

MemsONEの普及を促進するためには、講習会によるユーザー支援が不可欠です。このため、7月から定期的に実習講座や事例セミナーの開催を計画しています。
開催内容や日時・場所が決まりましたら、随時ご案内致します。

【お知らせ】

●平成19年8月7日
MemsONE β版実習講座の日程が決まりましたので、ご案内致します。下記の開催日より、ご希望日を選択してお申し込み下さい。
尚、本実習講座は東京大学および京都大学のご協力により実施しています。

- ・開催日:
【関東地区】: 東京大学本郷キャンパス(6回)
8/22(水) 9/14(金) 10/19(金) 11/16(金) 12/12(水) 1/18(金)
(基本) (基本) (応用) (基本) (応用) (応用)
- 【関西地区】: 京都大学吉田キャンパス(3回)
7/19(木) 9/20(木) 11/15(木)
(基本) (基本) (応用)

- ・開催場所:
東京大学本郷キャンパス「工学部10号館セミナー室」: [アクセス](#)
京都大学吉田キャンパス「物理系校舎205号室」: [アクセス](#)
- ・参加費(有料):
一般 = ¥8,000- アカデミック(先生・学生) = ¥3,000-

●平成19年7月23日
MemsONE β版の実習講座を下記の要領で開催致します。
実習講座は、複数のPCにMemsONE β版をインストールした環境を用意し、実際にPC上でMemsONE β版を使用したGUI操作や解析手順を中心に指導するものです。
実習講座にはPC等を持参する必要は御座いませんので、多くのユーザーの方々の参加を希望します。尚、空きがある場合は β版を導入されていない方も参加可能です。

- ・開催期間:
2007年7月~2008年1月迄
- ・開催場所:
関東地区 = 東京大学本郷キャンパス(6回)
関西地区 = 京都大学吉田キャンパス(3回)
- ・実習コース:
開催期間の前半は基本コース、後半は応用コースを予定
基本コース = フレームワーク操作と解析ソフトの利用方法を指導
応用コース = 一通り使いこなせる人を対象に解析ソフトの設計・研究に有用な活用方法を指導
- ・参加費(有料):
一般 = ¥8,000- アカデミック(先生・学生) = ¥3,000-

京都第一回を7月19日に開催し、次回は9月20日を予定しています。東京第一回は6月を予定し現在準備中です。今後の開催日が決まりましたらご案内致します。

図 3-6-12 : MemsONE β版実習講座の案内

⑤ 掲示板

ユーザコミュニティによる自立発展的な議論の場を提供するため、MemsONE クラブ内に掲示板を準備する予定としている。本掲示板は、ユーザが質問を投稿した際に新規スレッドが立ち上がり、それに対して MEMS-ONE プロジェクトメンバーや既に同問題を解決したユーザが解決方法を記入・公開ができるものである。

現在、掲示板の立上げ準備中であるが、立上げ当初は MEMS-ONE プロジェクトメンバーが想定質問や既出問い合わせ内容とその解決方法を記入したものを準備し、ユーザのための QA サイトとしての利

用を検討している。

本掲示板が活発化することにより MemsONE 利用方法のノウハウが蓄積されていくことになる。今後は、掲示板を如何にユーザに利用して頂くかが重要であり、普及促進のためにもユーザに広く認知させていく必要がある。

新規スレッド作成フォーム	
題名	<input type="text"/>
名前	<input type="text"/>
E-Mail	<input type="text"/> 表示 <input type="button" value="v"/>
URL	<input type="text" value="http://"/>
画像添付 JPEG/GIF/PNG	<input type="text"/> <input type="button" value="参照..."/> <input type="text"/> <input type="button" value="参照..."/> <input type="text"/> <input type="button" value="参照..."/>
パスワード	<input type="text"/> (記事メンテ時に使用)
投稿キー	<input type="text"/> (投稿時 6202 を入力してください)
コメント	<div style="text-align: center;">😊 😊 😊 😊 😊 😊 😊</div> <input type="text"/>
<input type="button" value="スレッドを生成"/> <input checked="" type="checkbox"/> クッキー保存	

図 3-6-13 : 掲示板 (案)

➤ ユーザサポート

MemsONE を広く普及させるためにはユーザサポートは不可欠である。そこで MemsONE β 版の配布にあわせて (財) マイクロマシンセンター内にサポートセンターを置き、ユーザからの問い合わせ対応を行っている。対応内容は

- ・ インストール方法に関する問い合わせ
- ・ 操作方法に関する問い合わせ
- ・ 不具合に関する問い合わせ

を主としている。(財) マイクロマシンセンターによる対応を基本としているが、MemsONE の高度な利用方法等についてはソフトベンダーも協力して対応を行っている。また、前述の通り MemsONE ひろばに掲示板 (QA 情報を掲載) を設置し、サポートの強化を図っている。解析のサポート等については商用版での保守対応とし、β 版では行っていない。

今後の普及促進のためには、よりサポートを強化していかなければならない。そのためにもユーザからの問い合わせを担当者に振り分ける仕組みや、問い合わせ内容の公開方法などを早急に検討し、ユーザがより安心して MemsONE を利用できる環境を整える必要がある。

▶ MemsONE β 版の機能強化開発

2006 年 11 月より MemsONE α 版と称して開発途中バージョンを無料配布し、ユーザからの要望等を収集した。ユーザからの主な要望は、フレームワークの改善、解析機能の強化、マニュアルの整備などであった。そこで得られた要望に応えることが MemsONE 普及には必須である。そこで、2007 年度中に以下の GUI・解析機能の改善及びチュートリアルマニュアルの作成を行うこととしている。

① GUI・解析機能の改善等

MemsONE 普及調査及び α 版評価アンケートの結果からさまざまな要望が出てきているが、MemsONE の広範囲な普及と定着に必須である下記項目に対し、ソフト機能の改善・強化を行う。

i) フレームワーク GUI の改善

MemsONE の利用者から見て、フレームワークの GUI 機能がシステムの顔とも言うべきユーザインターフェースを担っている。ユーザ評価アンケートでも、フレームワーク全般における GUI 機能への改善要望数は多く、MemsONE の普及のためには、この対応は必須である。具体的な改善項目として、下記の対応を行う。

MemsONE の解析条件設定において、一度作成した解析条件の再利用機能は、初心者のみならず熟練者にとっても非常に有効な機能である。機構解析の解析条件データにおける境界条件データは CAD 画面の幾何データや有限要素データと密接に関連付けられており、ユーザから見て、材料物性パラメータや計算制御パラメータに比べて、一覽的に設定状況を認識することが困難である。これに対応するために、個々の解析条件データにおける境界条件の設定状況を一覽的に表示する機能を開発する。

また、機構解析の力学解析ソフトにおける収束条件を強化するための計算制御パラメータ項目の追加、光ナノインプリントの GUI 項目名称をよりわかりやすいインターフェースにする為の改良など、力学解析ソフト・光ナノインプリント解析ソフト・熱ナノインプリント解析ソフト・電磁界解析ソフトの解析条件データ項目に関する改善を行い、よりわかりやすいユーザインターフェースを実現する。

ii) 機構解析ソフトの高速化、省メモリ化

MemsONE は初心者だけでなく、熟練設計者のニーズにも応えられることを目的にしている。今後広範囲のユーザに着実に普及させていく上で、初心者が使用する比較的低性能 PC での解析規模拡大や、熟練者の扱う大規模データに対する解析時間の短縮など、レスポンス向上に対する改善要望は強い。これに対応するため、機構解析ソフトで特に需要が高いと思われる 3 次元解析機能

- ・力学解析機能
- ・電磁場解析機能（電解解析及び固定時刻電流解析）
- ・圧電解析機能
- ・伝熱解析・熱変形解析機能
- ・上記連成解析機能

に関して、内部処理の高速化、プログラム内部使用メモリの削減を行う。

iii) 機構解析ソフトの解析精度向上

ユーザから見て、解析結果が **MemsONE** の利用成果そのものであり、**MemsONE** の評価に直結する。このため解析結果のさらなる精度向上は必須である。

これに対応するため、機構解析ソフトで特に需要が高いと思われる 3次元解析機能

- ・力学解析機能
- ・電磁場解析機能（電解解析及び固定時刻電流解析）
- ・圧電解析機能
- ・伝熱解析・熱変形解析機能
- ・上記連成解析機能

に関して、解析精度を大きく向上させるために 2 次の有限要素対応を行う。

また、機構解析ソフトの対応とともに、フレームワークにおける 2 次有限要素を生成する機能の開発および、および、機構解析ソフトの 2 次要素の解析結果データを評価図として表示する機能の対応も必須であり、この開発もあわせて行う。

iv) 逆問題ソフトにおける解析精度の向上

逆問題解析ソフトは、市販ソフトにはない **MemsONE** 独自機能として期待されているが、この出力データであるマスクデータの精度は今後の本ソフトの普及のためには、非常に重要となる。より高精度のマスクデータを出力するために、上面図に穴がある場合、および、複数マスクが作成される場合への対応を強化・改善する。

v) プロセス解析ツールの機能向上

プロセス解析ツールは、マルチプロセスエミュレータ、ウェットエッチングシミュレータ、ドライエッチングシミュレータの各機能に対して、後述の機能追加を行う。

マルチプロセスエミュレータはマスク形状とプロセスレシピから 3次元デバイス形状を作製できる **MemsONE** の特長的な機能である。プロセスレシピには多くのプロセス工程が登録されているが、基本となる工程にとどまっている。ここではユーザの利便性を向上させるため、リフトオフ等のプロセス工程の追加を行い、より多くの **MEMS** 製造工程に対応させる。

異方性ウェットエッチングシミュレータは、シリコン単結晶の全方位のエッチングレートデータを基に、設定したマスクパターンに対して、3次元エッチングプロファイルの過渡変化を解析する機能である。ユーザの利便性向上や解析結果評価のため、最終形状だけでなく、途中の形状変化をフレームワークにより表示可能な形式でファイル出力する。

ドライエッチングシミュレータは、初心者が容易に利用できるように、予め決められた初期形状に対して、装置条件を基にエッチング形状解析を実行する。一方、熟練者からは、より高精度で自由な解析をしたいとの要望が挙がっている。そのため、装置の内部状態を記述する物理モデルパラメータおよび初期形状をユーザが設定できるように改良を実施する。

上記プロセス解析ソフトの対応と並行して、フレームワーク側においても、マルチプロセスエミュレ

ータでのプロセス工程の追加、異方向ウェットエッチングにおける過渡形状の解析結果表示、ドライエッチングシミュレータの詳細な解析条件設定 GUI への対応が必要であり、この開発を行う。

②解析事例の蓄積とチュートリアルマニュアルの作成

MemsONEをMEMS設計・解析分野の初心者から熟練者まで広範囲に普及させるためには、セミナーや実習講座による技術支援だけでなく、MemsONEによる解析事例集やわかりやすいチュートリアルマニュアルなど、ユーザが自由に利用できる自習用の教材を取り揃え公開・提供していくことが極めて重要である。また、企業や大学がソフトを購入する場合には実績が重要視されるが、MemsONEは開発直後のソフトであるため検証解析以外の実績はなく、この観点でも、解析事例の早期蓄積が必要であり、事例蓄積によりMemsONEの信頼性を向上させ普及を促進させることが可能となる。

そこで、MemsONEを使用した解析実績を多数積み上げるとともに、解析事例をもとに、初心者が容易に理解でき、設計・開発技術者が即活用できるものをチュートリアルマニュアルとして作成する。チュートリアルマニュアルの内容は、フレームワークソフト、機構解析ソフト、プロセス解析ソフト、ナノインプリント解析ソフト、プロセス逆問題ソフト、回路シミュレータ等の単位で分冊形式に取りまとめ、ユーザの利便性を高めることとする。また、蓄積した解析事例データや、作成したチュートリアルマニュアルは、MemsONE 講習会やセミナーなどにおいても積極的に活用し、MemsONE 普及のための基本ツールとして継続的に利用する。

▶ 普及促進委員会の開催

MemsONE を国内に広く普及させるため、MemsONE 成果普及事業の一環として（財）マイクロマシンセンター内に MemsONE 普及促進委員会を設置し、MemsONE β 版の普及活動、MemsONE の機能改善・強化に関する検討、ユーザ支援活動を行っている。委員長には MEMS-ONE プロジェクトのプロジェクトリーダーであった東京大学 藤田博之教授に就任頂いた。委員としては MEMS-ONE プロジェクト参画企業に加え、ファンドリー企業にも就任して頂き、ユーザの立場から広く意見を収集できるようにした。

IV. 実用化、事業化の見通しについて（ソフト全体に対して記載）

(1) 成果の実用化可能性

MemsONE の実用化においては、大きく 3 段階のステージがある。

- ・ 第一ステージ：認知ステージ
多くの日本 MEMS 開発・研究者に MemsONE の存在を認知していただく。
- ・ 第二ステージ：知覚ステージ
ユーザに MemsONE へ触れていただき、MemsONE の効用を知覚していただく。
- ・ 第三ステージ：実用化ステージ
最終的には、第二ステージで MemsONE を知覚した結果、ユーザの現場にて活用していただく。

現在は前述の多岐にわたる広告宣伝活動により日本 MEMS 開発・研究者に MemsONE の存在を認知していただき、第二ステージの知覚ステージの段階にある。

知覚ステージは、本プロジェクト成果である MemsONE 初期バージョンの β 版が、国内 MEMS 開発・研究者へ幅広く頒布され、実際ユーザに MemsONE の効用を知覚していただくステージであるが、そのためにはシステムの機能、およびユーザサポートの両面から β 版が顧客満足を得られることが前提となる。つまり、β 版のユーザ評価が、第三ステージの MemsONE 実用化の可能性を左右すると言える。

①知覚ステージの現状

知覚ステージは、MemsONE β 版の普及率と β 版のユーザ評価（顧客満足度）により状況分析できる。

➤ MemsONE β 版の普及率

β 版の普及は、昨年度普及活動検討委員会で調査した MemsONE 国内市場（添付、「MemsONE 国内市場」）を基に β 版の普及率を分析した結果を以下の「図 3-6-14 : MemsONE β 版の普及状況」および「図 3-6-15 : 業界別の普及状況（表）」「図 3-6-16 : 業界別の普及シェア（グラフ）」に示す。

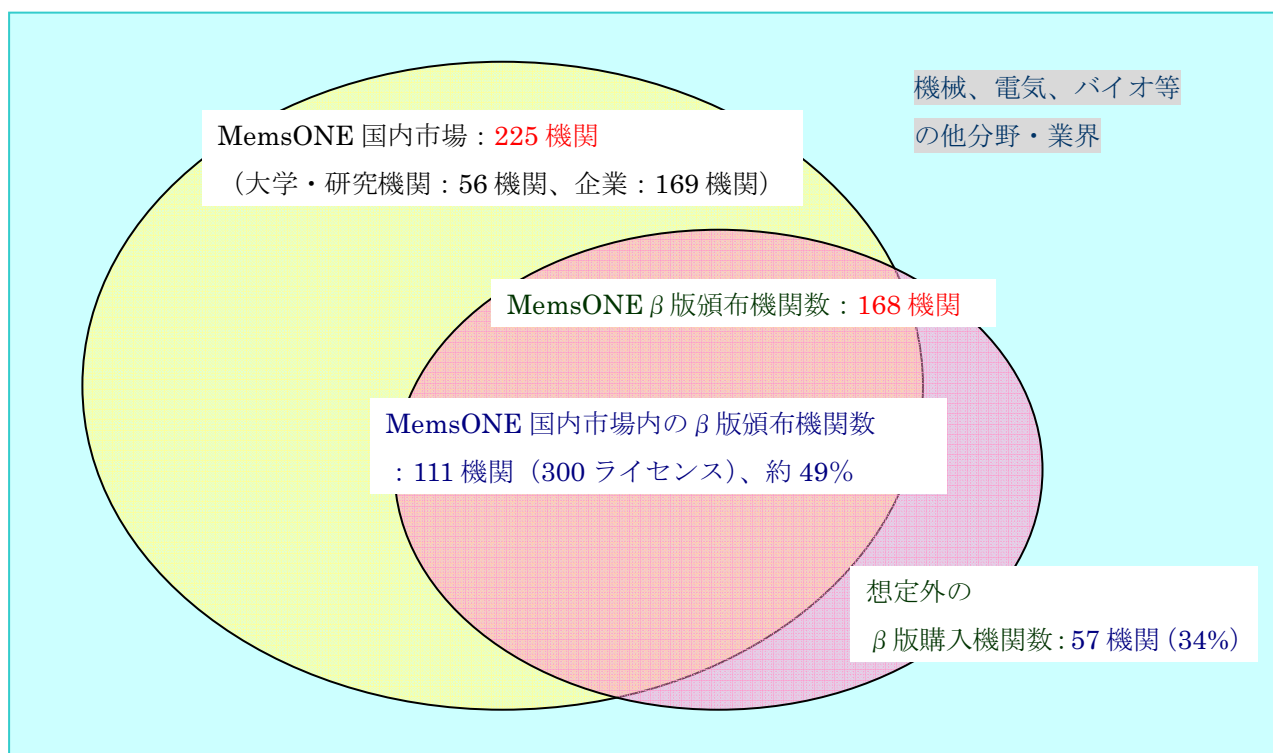


図 3-6-14 : MemsONE β 版の普及状況

全体	
業界機関数	225
β版購入機関数	111
普及率	49%
ライセンス数	300

大学	
業界機関数	40
β版購入機関数	17
普及率	43%
ライセンス数	110

国立研究機関・団体	
業界機関数	16
β版購入機関数	4
普及率	25%
ライセンス数	9

精密機械業界	
業界機関数	31
β版購入機関数	14
普及率	45%
ライセンス数	25

電気業界	
業界機関数	90
β版購入機関数	50
普及率	56%
ライセンス数	124

産業・輸送用機器業界	
業界機関数	21
β版購入機関数	11
普及率	52%
ライセンス数	13

情報・通信業界	
業界機関数	6
β版購入機関数	5
普及率	83%
ライセンス数	6

化学・医療・製薬・繊維業界	
業界機関数	11
β版購入機関数	5
普及率	45%
ライセンス数	6

鉄鋼・非鉄金属・金属製品	
業界機関数	6
β版購入機関数	3
普及率	50%
ライセンス数	5

サービス	
業界機関数	4
β版購入機関数	2
普及率	50%
ライセンス数	2

図 3-6-15：業界別の普及状況（表）

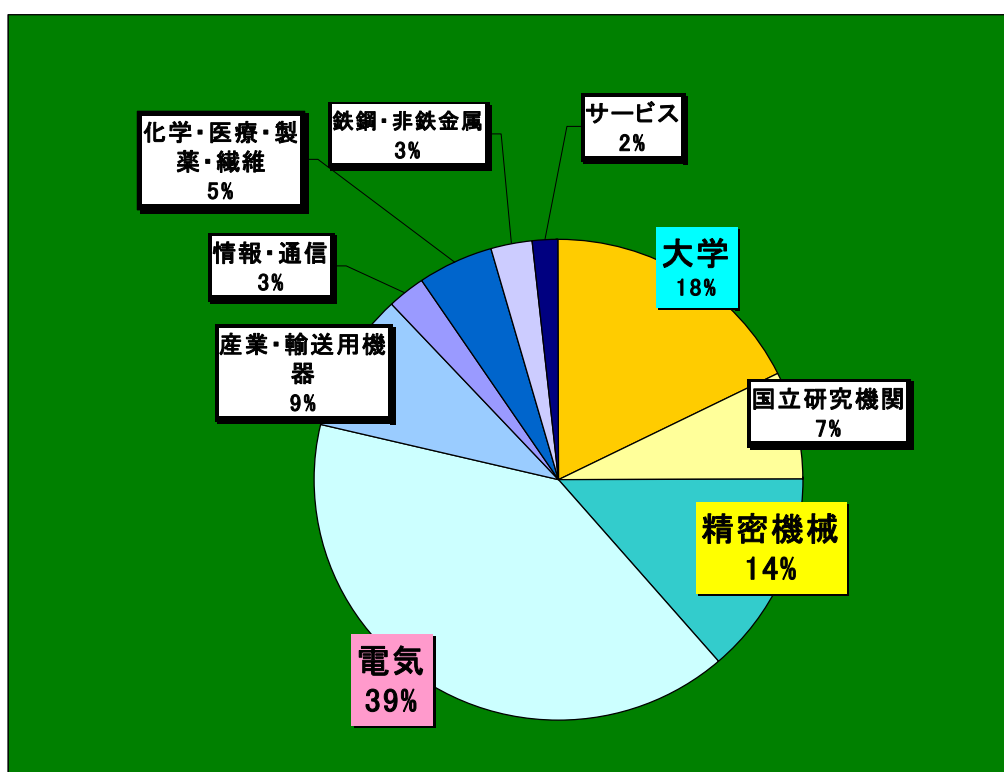


図 3-6-16：業界別の普及シェア（グラフ）

分析の結果、国内 MemsONE 市場への普及率は 49%であるが、以下に示す今後の β 版普及活動

- ・ マイクロマシン/MEMS 展 (7/25~27)、国際ロボット展 (11/28~12/1) 等の展示会への出展
 - ・ MEMS ファンドリーサーサービス機関の協力宣伝
 - ・ 既に β 版を入手したユーザからの口コミ
 - ・ MEMS 人材育成事業による公設試への普及
- 等により、普及率は上昇する予定である。

ただし、ユーザが MemsONE β 版の購入する際は、システムの導入環境の整備、MemsONE 習得時間の確保等の準備が必要となるため、β 版が安価に頒布されたとしても、想定される MemsONE ユーザの全てが即導入は困難である。

よって、それらユーザ環境を考慮し、β 版頒布前に掲げた普及目標は機関数 150 機関、ライセンス数 300 ライセンスとした。その普及目標から判断するとライセンス数は目標を十分達成し、機関数も達成できる見込みである。

以下に、「図 3-6-17：β 版普及目標からみた普及状況」を示す。

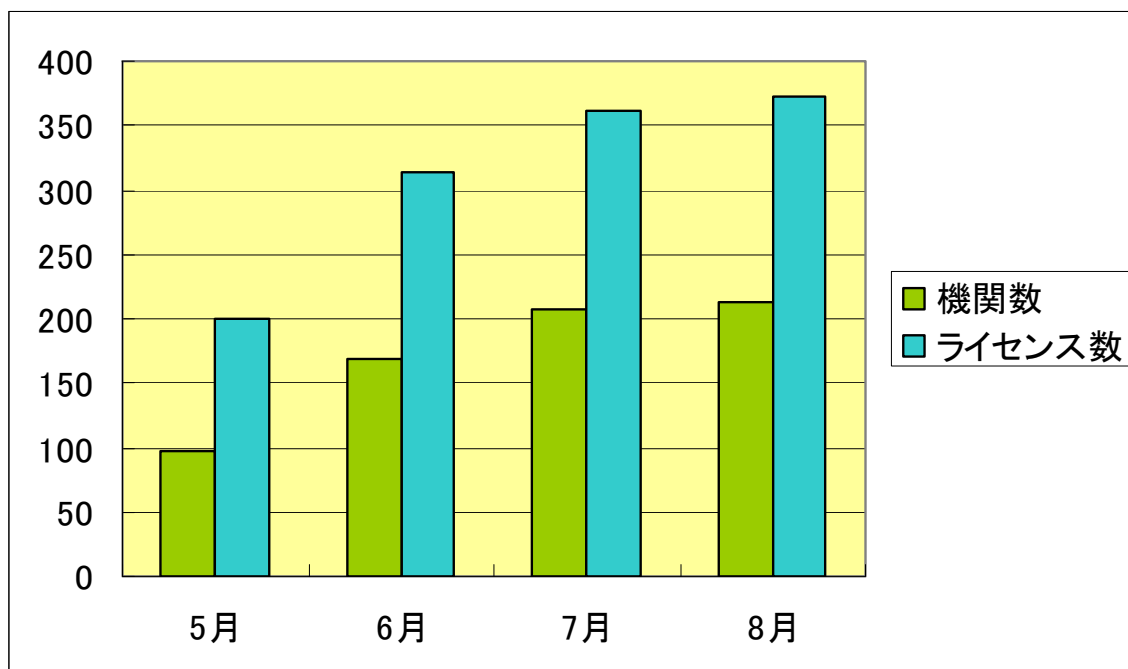


図 3-6-17：β 版普及目標からみた普及状況 (2007/8/4 現在)

よって、ユーザが MEMS 設計・研究においてソフトウェアの使用ニーズが発生した時に競合商品の中から MemsONE を選択していただくことが重要であり、そのためにはβ版が高い顧客満足を獲得した上で、継続した中長期的な MemsONE 普及活動が必要となる。

さらに、MEMS 分野以外のβ版購入（34%）により機械、電気、バイオ等の他分野・業界の技術者との融合が促進され、新たな市場創出が期待できる。

➤ β版のユーザ評価（顧客満足度）

β版のユーザ評価は、第三ステージの MemsONE 実用化の可能性を左右すると共に、MemsONE 普及拡大（既にβ版を入手したユーザからの口コミ）に大きな影響がある。

また、β版のユーザ評価においては現時点のβ版の完成度も重要であるが、今後の MemsONE 機能改善およびユーザサポートが最も重要である。以下に、前述のプロジェクト終了後普及活動結果を示す。

・ MemsONE 機能改善

α版（中間成果）ユーザからの改善要求を基に、現在開発遂行中。

・ β版のユーザサポート

β版講習会、実習、ユーザからの問い合わせ対応は高い評価獲得。

以上、認知ステージ、知覚ステージにおいて 実用化に向けた状況は目標以上の成果であることから、MemsONE 実用化の可能性は十分あると考察する。

➤ 競合商品との比較

現在、MemsONE β版と競合となる MEMS 用総合システムは3システムあるが、全て海外製である。以下にそのシステムを示す。

・ CoventorWare（Coventor 社）

・ IntelliSuite（IntelliSense 社）

・ MEMS Pro（MEMSCAP 社）

ユーザの購入判断として最重要視される「購入価格」と「機能の充実度」より競合商品を比較したポジショニングマップを図4（新エネルギー・産業技術開発機構調査委託「MEMS 用設計・解析支援システムの波及効果と普及活動に関する調査（H18/3）より」）に示す。

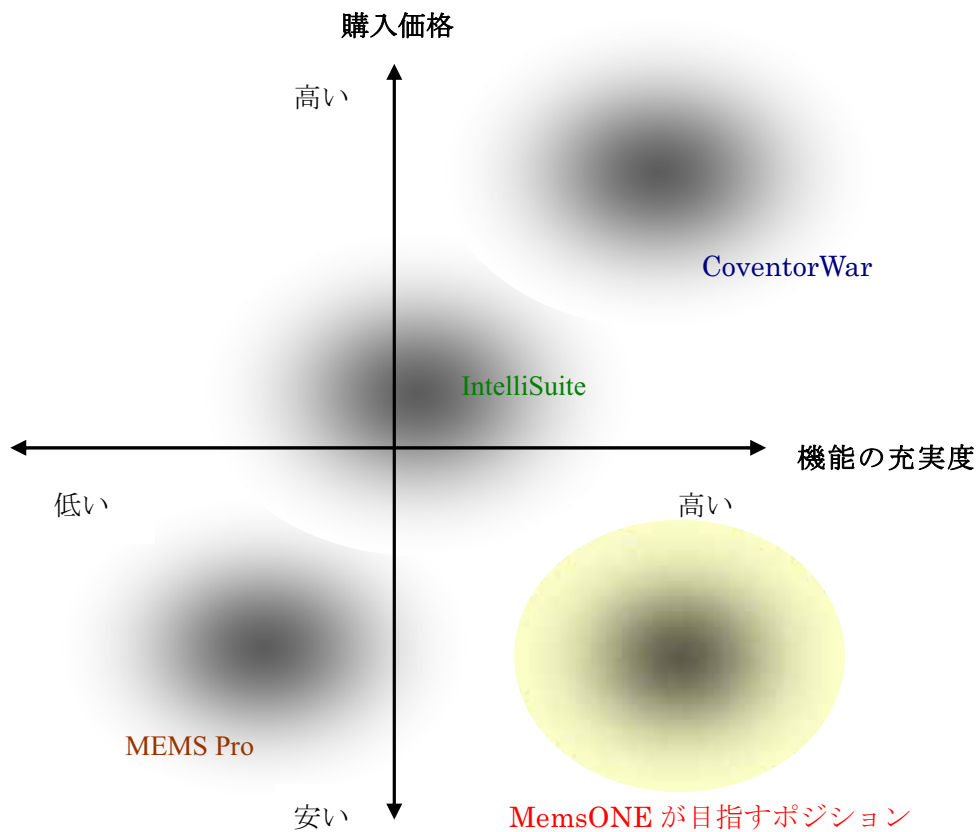


図 3-6-18 : 購入価格と機能の充実度によるポジショニング

また、競合システムにおいて「システム A (仮称)」が国内市場で高いシェア (約 60%) を持っている。システム A にはなく、MemsONE のみが有している機能 (MemsONE の優位性) は以下のとおりである。

- ・ デバイス構造作成 (3次元ソリッドモデラー)
- ・ プロセス DB
- ・ 知識 DB
- ・ 接合実装解析
- ・ プロセス逆問題ソフト
- ・ 熱ナノインプリント解析
- ・ 光ナノインプリント解析

初心者に対する MEMS 教育に利用可能なプロセス/知識 DB 及びプロセス逆問題ソフト、MEMS 開発で必須となる接合実装解析、今後の市場拡大が見込まれるナノインプリント解析など、広範囲に渡る優位性を有していることがわかる。

一方で、システム A と同様の機能に関しては MemsONE の完成度が若干低いことは否めない。そこで、完成度の向上のために、MemsONE β 版を実費にて頒布し、不具合や操作性の問題などを収集して改善に努めている。また、MemsONE β 版実習講座を東京で 6 回、京都で 3 回（いずれも予定）開催し、実際に MemsONE β 版を利用しているユーザからの生の声も集め、MemsONE 正式版への反映を順次行っている。これにより後述の低価格販売と相まって、MemsONE の勝算が見込まれる。

(2) 波及効果

国内 MEMS 技術者への普及は前述に示した通りであるが、想定できなかった MEMS 分野以外の β 版購入（26%）により建築、機械等の他分野・業界の技術者との融合が促進され、新たな市場創出が期待できる。

(3) 事業化までのシナリオ

以下、「図 3-6-19：事業化スケジュール」を示す。

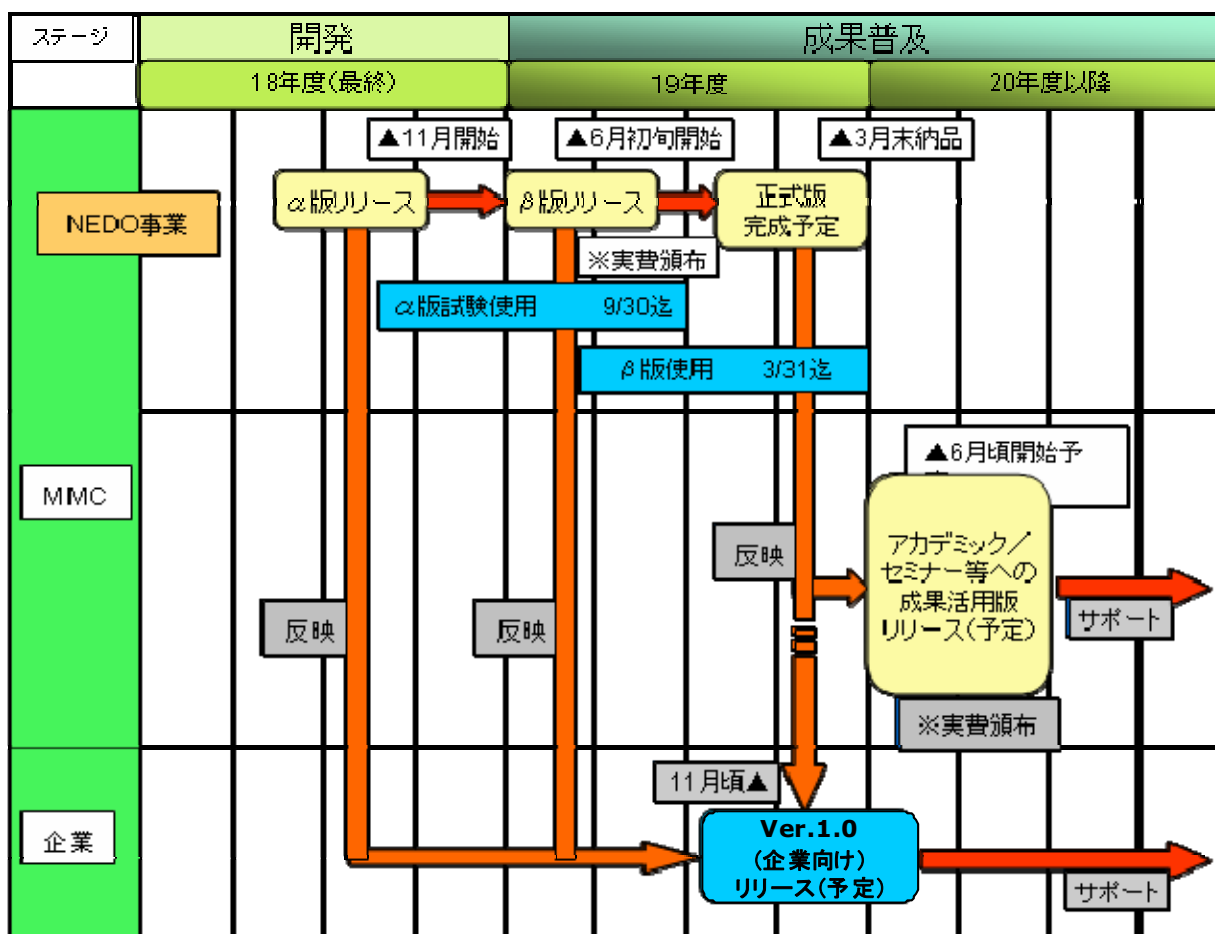


図 3-6-19：事業化スケジュール

また、MEMS-ONE 普及活動検討会にて、購入するユーザの立場を重視した MemsONE β 版以降の販売における詳細検討を行った。今後、β 版以降の販売方法はその検討結果を基に確定する予定である。以下に検討結果、「表 1 MemsONE 正式版販売ラインナップ」を示す。

表 3-6-3 : MemsONEVer1.0 販売ラインナップ

販売形態 検討項目	企業向け		アカデミック向け	
	個別評価用	MEMS設計・開発実務用	教室用	大学・公的機関研究者用
販売価格 (円)	約10万/機能 (フレームワーク、DBを含む)	・100万~200万/機能 (フレームワーク、DBを含む) ・350万(基本セット※)/本 (フレームワーク、DBを含む)	約150万/教室 (フレームワーク、DBを含む)	約6万/本 (フレームワーク、DBを含む)
使用許諾期間	無期限		約5年	1年
機能制限	あり	なし	あり	なし
顧客管理	全ての販売において「サポートセンター」			

※基本セットの解析機能は、機構解析、プロセス解析、ウェットエッチングシミュレータ、逆問題解析機能の4機能

また、販売後のユーザ保守においては、全てのユーザに対し Web 掲示板による問い合わせ対応、バグフィックス版の提供を無償で実施する予定である。更に深い対応（インストールサービス、カスタマイズ、個別使用コンサルティング等）に関しては、現在、販売機関にて検討中である。

以上

学会発表（会議・講演を含む）

番号	発表日	発表先	題名	発表代表者
1	2005/10/12	日本機械学会 研究分科会	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価	濱田 繁
2	2005/10/18	日本材料学会 第 12 回 破壊力学シンポジウム	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価	濱田 繁
3	2005/11/04	日本機械学会 M&M2005 材料力学カンファレンス	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価	片桐大輔
4	2005/12/04	第 218 回 日本材料学会 材料力学談話会	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価	濱田 繁
5	2006/12/06	第 22 回 日本材料学会 材料・構造信頼性シンポジウム	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価	片桐大輔
6	2007/02/02	第 224 回 日本材料学会 材料力学談話会	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価	片桐大輔
7	2007/03/16	第 21 回エレクトロニクス実装学会講演大会	MEMS パッケージ封止接合部の強度試験片作製及び評価	横山吉典
8	2007/05/19	第 56 期通常総会・学術講演会（日本材料学会）	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価（せん断負荷による評価）	片桐大輔
9	2005/06/06	日本伝熱学会 第 42 回日本伝熱シンポジウム	マイクロデバイス設計用データベース構築を指向した急拡大部流れの特性検証	中部主敬
10	2005/11/05	日本機械学会熱工学コンファレンス 2005	マイクロミキサー内における溝付設流路の混合と流動特性	中部主敬
11	2005/09/22	2005 年電子情報通信学会ソサイエティ大会	FDTD 法による非線形デバイスが実装された回路解析の効率化に関する一検討	藤森和博
12	2005/10/06	35 th EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE	Development of High Efficiency Rectification Circuit for mW-class Rectenna	藤森和博
13	2006/03/17	平成 18 年電気学会全国大会	コムドライブアクチュエータを用いた AFM プローブに関する研究	橋口 原
14	2006/03/22	日本金属学会春期全国大会	シリコンとガラスの陽極接合部に及ぼす接合条件因子の影響	大橋 修
15	2005/09/22	高分子討論会 (高分子学会予稿集)	多分岐ポリアミドアミンをグラフトしたシリカによるエポキシ樹脂の硬化と硬化物の特性	坪川紀夫
16	2005/11/	Materials Research Society Fall Meeting	High aspect ratio grating fabrication by Imprint lithography	平井義彦
17	2005/03/10	電気学会マイクロマシン・センサシステム研究会	2次元光スキャナ用スパイダーレッグ型マイクロXYステージの電気機械的特性解析	年吉 洋
18			赤外分光天体望遠鏡用マイクロシャッタアレイの試作	藤田博之
19	2005/03/17	平成 17 年電気学会全国大会	自己組織化単分子膜による MEMS 構造のスティクション回避	藤田博之
20			高周波 MEMS 応用のための微小真空管製作	藤田博之

21	2005/03/29 ～04/1	2005 年春期 第 52 回応用物 理学関連連合講演会	移動機構を持つカンチレバーの製作技 術	藤田博之
22	2005/10/06 ～08	日本天文学会 2005 年秋季年 会	半導体微細加工技術による多天体分光 用マイクロシャッタアレイの開発	年吉 洋
23	2005/12/06 ～09	The 12th. Int. Display Workshop / Asia Display 2005	A High Fill-factor Comb-driven XY-stage with Topological Layer Switch Architecture	藤田博之
24			MEMS Technologies for Micro Optics – From Fiber Optic Communication to Display	藤田博之
25	2005/12/05 ～07	SPIE Internatioal Symposium on Optomechatronic Technologies	MEMS for micro optics from fiber optic communication to display	年吉 洋
26	2005/10/26 ～28	Nanoengineering ymposium 2005, Korea Institute of Machinery and Materials	MEMS for Optical Information Technology	年吉 洋
27	2005/08/01 ～04	IEEE/LEOS Int. Conf. on Optical MEMS and Their Applications	A Laser Display using a PZT-Actuated 2D Optical Scanner	藤田博之
28			Design and Fabrication of A MEMS 1-D Optical Scanner using Self-Assembled Vertical Combs and Scan-Angle Magnifying Mechanism	年吉 洋
29			A 2D Optical Lens Scanner with Small Footprint Actuators	藤田博之
30			Electrostatic Micro-Shutter Array for Infrared Spectrograph	藤田博之
31			A 2x2 Optical Add-Drop Module with Attenuation Controllability using Two 45deg Movable Micromirrors	年吉 洋
32	2005/07/10 ～14	The 18th Int. Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC 2005)	An RF-MEMS Device with a Lateral Field-Emission Detector	藤田博之
33	2005/05/17 ～20	The Croucher Foundation Advanced Study Institute (ASI) "Frontier Research on Nano-mechanics"	A LATERAL FIELD-EMISSION RF MEMS DEVICE	藤田博之
34	2005/06/05 ～09	Proc. 13th Int. Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS '05)	Real Time Observation of Micromachined Field Emission Tip using Transmission Electron Microscope	藤田博之
35			A LIGHT-IN LIGHT-OUT MICRO MIRROR DEVICE	藤田博之
36			Foxtail Actuators	藤田博之
37			Monolithic Integration of High Voltage Driver Circuits and MEMS Actuators by ASIC-like postprocess	藤田博之

38			Micro XY-stages with Spider-leg Actuators for 2-Dimensional Optical Scanning	年吉 洋
39			A MEMS 1-D Optical Scanner for Laser Projection Display using Self-assembled Vertical Combs and Scan-angle Magnifying Mechanism	年吉 洋
40	2005/04/17 ~20	Proc. 17th Int. Symp. on Integrated Ferroelectrics (ISIF 2005)	Piezoelectric 2D-Optical Micro Scanners With PZT Thick Films	年吉 洋
41	2005/01/30 ~02/03	IEEE MEMS 2005	A Micro Dice -An Electrostatic Micro Random number generator	藤田博之
42			An Electrostatic Inertia-Driven Micro Rover	藤田博之
43	2005/10/29	日本金属学会 2005 年秋期 (137 回)大会講演 (JIM Fall Meeting)	The Fatigue and Fracture of Microsized TiAl	肥後矢吉
44			集束イオンビーム照射による方位配行ニッケル ¹ ノ結晶相の微細 ² ターニング ³	肥後矢吉
45	2005/12/28	2005 MRS Fall Meeting	Fine Patterning of Oriented Nickel NanoCrystals using a Focused Ion Beam	肥後矢吉
46	2005/08/09	FIS Conference on future integrated systems	The present and future research systems on MEMS and future challenges of testing integrated systems	肥後矢吉
47	2005/04/01	2005 MRS Spring Meeting	Effects of Humidity History on the Tensile Deformation Behaviour of Poly(methyl-methacrylate)(PMMA)Films	肥後矢吉
48			Micro-Fracture Toughness Testing of TiAl based Alloys with a Fully Lamellar Structure	肥後矢吉
49			Fatigue Testing of microsized samples of γ -TiAl based material	肥後矢吉
50	2006/06/22 ~26	Proceedings of The 19 th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2006)	Two-Dimensional Silicon Smart Tactile Image-Sensor with Single Sensing Diaphragm Actuated by Vibrating Pressure for Simultaneous Detection of Force and Object Hardness Distributions	高尾英邦
51	2005/07/10 ~14	Conference Proceedings of The International Conference on Electrical Engineering 2005 (ICEE2005)	Ultimate 1/f noise reduction in JFET-based Operational Amplifiers for High-Performance CMOS Integrated Smart Microsensors	高尾英邦
52			Fabrication of Temperature Controlled Precise Three-Axis Accelerometer with Stabilized Temperature Characteristics over a Wide Temperature Range	高尾英邦
53	2005/06/05 ~09	Digest of Technical papers of the 13 th International Conference on Sensors, Actuators, and Microsystems	Multifunctional Smart Tactile-Image Sensor with Integrated Arrays of Strain and Temperature Sensors on Single Air-Pressurized Silicon Diaphragm	高尾英邦

54		(Transducers'05)	Smart Microfluidic Electrochemical DNA Sensors Integrated Signal Processing Circuits	高尾英邦
55			Highly Sensitive Electron-Emission-Type Infrared Sensor Using a Single Crystalline LiNbO	高尾英邦
56			Improvement of thermal Response in Temperature Controlled Precise Three-Axis Accelerometer with Stabilized Characteristics over a Wide Temperature Range	高尾英邦
57			Performance and Reliability Study of Si(111) CMOS Subjected to High Mechanical Stress for Smart Sensor Application	高尾英邦
58			The Fabrication of Filter-less Fluorescence Detection Sensor Array Using CMOS Image Sensor Technique	高尾英邦
59			Fabrication of Two-Dimensional pH CMOS Image Sensors and Real Time Imaging of Chemical Reaction	高尾英邦
60			Neural Recording with Low-Invasive Si Microprobe Array	高尾英邦
61			Wafer-Level Integration Technology of Surface Mount Devices Using Automatic Parts Alignment Technology with Vibration	高尾英邦
62			Evaluation of Novel Blood-Hemoglobin Measurement Microsystem with Integrated Processing Circuits and Si(110) 45°-Mirrors	高尾英邦
63	2005/06/05 ~09	Proceedings of The Thirteenth International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, Transducers 2005	Effects of Gas Flow Ratio in PE-CVD on Elastic Properties of Sub-Micron Thick Silicon Nitride Film for MEMS	生津資大
64			Ti-Ni SMA Film Actuated Si Cantilever Beams for MEMS Probe Card	生津資大
65	2005	Proceedings of The Eighth International Symposium on Sputtering & Plasma Process, ISSP 2005	Thermomechanical Characteristics of Sputtered Ti-Ni SMA Films for Derivation of Constitutive Equation	生津資大
66	2006	Proceedings of The Nineteenth IEEE International Conference on Microelectro mechanical Systems, MEMS 2006	Self-Propagating Explosive Reactions in Nanostructured Al/Ni Multilayer Films as A Localized Heat Process Technique for MEMS	生津資大
67	2005/05/08	ナノ学会 第3回大会	集束イオンビームによるナノ金型を用いた金属ガラスのナノインプリント	早乙女康典

68	2005/06/20	2nd JSME/ASME Int. Conf. on Materials and Processing 2005	Development of Micro-inductor by Superplastic Forming of Metallic Glass	早乙女康典
69	Superplastic Nano Forming of Optical Component of Metallic Glass		早乙女康典	
70	Characteristic Behavior of Zr-based Metallic Glass under Rapid Heating and the Application to Microforming		早乙女康典	
71	Development of a Palmtop Fatigue Testing Machine and the Characteristic		早乙女康典	
72	2005/07/05	12th International Symposium on Metastable and Nano Materials (ISMANAM)	Superplastic nanoforming of optical components of Pt-based metallic glass	早乙女康典
73	2005/08/26	12th Int. Conf. on Rapidly Quenched & Metastable Materials(2005)	(招待講演) Micro/nano-forming of metallic glasses	早乙女康典
74			Integration of metallic glass - Application to micro/nano-fabrication	早乙女康典
75	2005/11/20	第 56 回塑性加工連合講演会	金属ガラスを用いた反射型干渉光学素子のナノインプリント成形 (日本塑性加工学会優秀論文講演奨励賞受賞)	早乙女康典
76	2006/11/	International nanoimprint and nanoprint technology conference	Time Evolution Analysis of the Resist Profile in Thermal Nanoimprint	平井義彦
77	2007/03/	第 54 回応用物理学関係連合講演会	熱ナノインプリントにおけるレジスト形状の時間変形解析 I (シミュレーション)	平井義彦
78			熱ナノインプリントにおけるレジスト形状の時間変形解析 II (実験)	平井義彦
79	2006/05/26 ~27	平成 18 年度塑性加工春季講演会講演論文集	FIB-W デポジション・パターニングによるナノ金型の創製と金属ガラスのナノインプリント	早乙女康典
80	2006/09/18 ~22	日本機械学会 2006 年度年次大会後援論文集 Vol.1	金属ガラスの 50nm ナノインプリント成形における金型と成形材料の挙動	早乙女康典
81			金属ガラス-Si ハイブリッド構造による圧力センサ用ダイアフラムの開発	早乙女康典
82			金属ガラスの急速加熱制御マイクロ成形加工装置の開発	早乙女康典
83	2006/10/31 ~11/02	第 57 回塑性加工連合講演会講演論文集	粘性材料の微細成形特性に及ぼす金型とぬれ性の効果	早乙女康典
84	2006/06/29 ~30	3rd KU-KITECH symposium	Superplastic NanoForming of Optical Components of Pt-based Metallic Glass	早乙女康典
85	2006/07/04	Thermec'06	Superplastic Nanoforging of Pt-based Metallic Glass with Dies of Zr-BMG and Glassy Carbon Fabricated by Focused Ion Beam	早乙女康典

86	2006/11/	The 5th International NNT(Nanoimprint and Nanoprint Technology) Conference	Nanoimprint of Metallic Glasses	早乙女康典
87	2007/01/21 ～25	in Proc. 20 th IEEE Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2007)	Topological layer switch technique for monolithically integrated electrostatic XYZ-stage	藤田博之
88			tunable light grating integrated with high-voltage driver IC for image projection display	藤田博之
89			Fabrication of micro-tips by lift-off process with contact shadow masking	年吉 洋
90	2006/12/06 ～08	in Proc. 5 th Int. Conf. on Optics-Photonics Design & Fabrication (ODF '06)	Wavelength division multiplexing for MEMS-based fiber optic endoscope	藤田博之
91	2006/10/01 ～04	SPIE Optics East – Photonics for Applications in Industry, Life Sciences, and Communication, 2006	Micro optomechanical devices for medical endoscope applications	藤田博之
92	2006/09/17 ～20	in Proc. 32 nd Int. Conf. on Micro- and Nano-Engineering 2006 (MNE 2006)	Time dependence of field-emission current for silicon RF-MEMS applications	藤田博之
93	2006/08/21 ～24	in Proc. IEEE/LEOS Int. Conf. on Optical MEMS and Their Applications (Optical MEMS 2006)	A 3D optical crossconnect using microlens scanner with topologically layer switch architecture	藤田博之
94			Design and fabrication of optical MEMS scanners for optically modulated fiber endoscopes	藤田博之
95	2006/04/06 ～08	The 8 th Korean MEMS Conference	A comb-driven XY-stage with topological layer switch architecture for high-density arrayed systems	藤田博之
96			A 9x9 optical cross-connect utilizing silicon lens-scanners with spider-leg actuators	藤田博之
97	2006/05/09 ～12	in Proc. Int. Conf. on Microtechnologies in Medicine and Biology (MMB 2006),	A photovoltaically modulated MEMS optical scanner for fiber endoscope	藤田博之
98	2006/01/25 ～26	in Proc. SPIE Photonics West, MOEMS-MEMS 2006	Optical characterization of 9x9 optical cross connect utilizing silicon lens scanner with spider-leg actuators	年吉 洋
99	2006/09/21	電子情報通信学会 2006 年ソサエティ大会	光ファイバ通信におけるMEMS技術	年吉 洋
100	2006/07/27	電気学会 マイクロマシン・センサシステム研究会	光ファイバ内視鏡用光駆動MEMSスキャナシステム	藤田博之
101	2006/05/15 ～16	平成 18 年度 電気学会センサ・マイクロマシン準部門総合研究会	電極構造・弾性体のれいやーぶりによる静電櫛歯型XYステージの高密度化	藤田博之

102	2006/11/	2006 MRS Fall Meeting	Development of Evaluation Method for Delamination Strength Between Micro-Sized Materials in MEMS Devices	肥後矢吉
103			Effects of P content on morphology of nanocrystals induced by FIB irradiation in Ni-P amorphous alloy	肥後矢吉
104			Effect of Applied Stress on the FIB Irradiation-induced Nanocrystalline Morphology in Amorphous Ni-P	肥後矢吉
105	2006/10/	MNC2006	Effects of Exposure on Adhesive Strength between Microsized Photoresist and Si Substrate	肥後矢吉
106	2006/09/	第 55 回高分子討論会	MEMS 用フォトレジストのマイクロサイズ曲げ特性に及ぼす露光量の影響	肥後矢吉
107	2006/09/	日本金属学会、2006 年秋期 (第 140 回) 大会	電解研磨による微小サイズ引張試験片作成法の開発	肥後矢吉
108			F I B 照射誘起ナノ結晶の析出形態に及ぼす応力負荷の影響	肥後矢吉
109	2006	第 50 回日本学術会議材料工学連合講演会	MEMS 用微小構造部材の接着強度測定法の開発と評価	肥後矢吉
110	2006	International Symposium on LifeChips 2006	Si microprobe array chips for in-vivo recording of neural activity	石田 誠
111	2006/06/29	Joint Seminar on Sensor and MEMS between NECTEC and IEEJ Society E	Smart Microchips with Sensors and Integrated Circuits of TUT	石田 誠
112	2006/08/17 ~20	The 6th Japan-Korea Conference on Ferroelectricity - JKC-FE06	Ferroelectric Thin Film Sensors on Epitaxial Pt/Al ₂ O ₃ /Si Substrates,	石田 誠
113	2006/09/12 ~13	A New Road Towards A Si CMOS-Compatible Resonant Tunnel Diode Technology	Hetero- epitaxial growth of Al ₂ O ₃ /Si and device applications, ESF Exploratory Workshop - Physical and Engineering Sciences (PESC) Silicon/oxide Hetero-Epitaxy	石田 誠
114	2006/11/06 ~07	International Forum on Micro-Nano Hetero System Integration in Sendai (MHSI-'06) and The 2nd Fraunhofer Symposium in Sendai	Smart Microchips - Si microprobe array chips for recording neural activity -	石田 誠
115	2007/01/11 ~13	Korea and Japan Joint Seminar on Semiconductor Manufacturing Process	Smart Microchips of TUT	石田 誠
116	2006/05	International Symposium on LifeChips	Two dimensional dynamic pH image sensor based on a CCD technique	石田 誠
117	2006/10	210th Meeting of The Electrochemical Society	Quantitative Evaluation of Concentration of Double Stranded DNA Using by Filter Less Fluorescence Detection Sensor	石田 誠

118	2006/12/12 ~13	International Workshop on Micro/Nano Science and Engineering for the 21st Century	Silicon MEMS Sensors and Devices Harmonized with LSI Technology	石田 誠
119	2006/04/17 ~21	2006 Materials Research Society (MRS) Spring Meeting	Fabrication of Ferroelectric Thin Films on Crystalline HfO ₂ /g-Al ₂ O ₃ /Si(100) Substrates for MFIS-FET Applications	石田 誠
120			Epitaxial Pt(111) thin Films on Si(111) Substrates with g-Al ₂ O ₃ (111) as Buffer Layer	石田 誠
121	2006/05/16 ~17	International Symposium on LifeChips 2006	Integrated Smart Micro Sensors with Short-Distance RF-Communication Unit for Life-Related Sensing Applications	高尾英邦
122			HIBALIS: a Prototype System for Intelligent Human Sensing	高尾英邦
123			Si microprobe array chips for in-vivo recording of neural activity	石田 誠
124	2006/06/25 ~28	Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT 2006)	CAPACITANCE-VOLTAGE CHARACTERISTICS AND SWITCHING TIME OF DOUBLE BARRIER RESONANT TUNNELING DIODE FABRICATED WITH Epi-Si/ γ -Al ₂ O ₃ HETEROSTRUCTURE	石田 誠
125			A novel structure of Si/GaN/ γ -Al ₂ O ₃ /Si for MEMS applications,	石田 誠
126			MICRO SiO ₂ TUBE ARRAY ON Si(111) SUBSTRATES FOR INTELLIGENT DEVICES USING VAPOR-LIQUID-SOLID METHOD AND SELECTIVE SI ETCHING BY XeF ₂ GAS,	高尾英邦
127			A SELF-COMPENSATED FULLY DIFFERENTIAL SOI-CMOS OPERATIONAL AMPLIFIER FOR WIDE TEMPERATURE OPERATION OF SILICON SMART SENSORS UP TO 275°C	高尾英邦
128			FABRICATION OF P-N JUNCTION USING SI-MICRO-PROBE ARRAY BY IN-SITU DOPING VLS GROWTH	高尾英邦
129			EFFECT OF HIGH DRAIN BIAS ON STRESS SENSITIVITY IN MOSFETS	高尾英邦
130			A WIDE DYNAMIC RANGE PHOTOGATE TYPE IMAGE SENSOR BASED ON SELF SUPPRESSION PRINCIPLE	高尾英邦

131	2006/07/17 ～20	19th International Vacuum Nanoelectronics Conference & 50th International Field Emission Symposium (IVNC & IFES 2006)	Fabrication of Local Micro Vacuum Package Incorporating Si Field Emitter Array and Ti Getter	石田 誠
132	2006/09/10 ～14	The IUMRS International Conference in Asia 2006 (IUMRS-ICA-2006)	High crystalline quality Pt thin films grown epitaxially on epitaxial Al ₂ O ₃ /Si substrates	石田 誠
133	2006/10/22 ～25	IEEE Sensors2006	Evaluation of Monolithically Integrated Antennas and RF Transmitters for Silicon Smart Micro Sensors with Wireless-Communication Ability	高尾英邦
134	2006/10	The 5th IEEE Conference on Sensors	Sensing Characteristics of Charge Transfer Type pH Sensor by Accumulative Operation	高尾英邦
135	2006/10	2006 International Meeting The 210th Meeting of The Electrochemical Society	Quantitative evaluation of concentration of double stranded DNA using filter less fluorescence detection sensor	高尾英邦
136	2006/10	MNC (2006 International Microprocesses and Nanotechnology Conference)	Development of Cavity Structure for Field Emission on Si Substrate	石田 誠
137	2006/05/15 ～16	平成 18 年度 電気学会センサ・マイクロマシン準部門総合研究会	極微細マイクロチューブアレイの形成と溶液注入実験	高尾英邦
138	温度調節機構を集積化した C 反応性タンパク測定用マイクロチップの設計と製作		高尾英邦	
139	電荷転送型 pH センサの累積読み出しによる高感度測定		高尾英邦	
140	2006/07	第 29 回日本神経科学大会	In-vivo 神経細胞活動電位計測のための極微小シリコンプローブ電極アレイ	高尾英邦
141	2006/08	2006 年(平成 18 年)秋季第 67 回応用物理学関係連合講演会	VLS 法を用いた多段階成長による Si マイクロプローブアレイの三次元化	高尾英邦
142			温調前処理機構と光同期検出機構を集積化した血液分析用マイクロチップの製作	高尾英邦
143			ケミカルオキサイド形成温度の g-Al ₂ O ₃ 極薄膜の電気特性への影響	石田 誠
144	2006/10	第 23 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	ユビキタス・マイクロセンサ実現に向けた高性能受動素子の自己集積化技術	高尾英邦
145			参照溶液が不要な吸光光度測定マイクロチップの作製と特性評価	高尾英邦
146			フィルタレス蛍光検出センサによる二本鎖 DNA の定量分析	高尾英邦
147	2007/03/15 ～17	平成 19 年 電気学会全国大会	CMOS 集積回路と一体化可能なスマート微小流体デバイスの提案	高尾英邦

148			厚膜 SOI 基板上の CMOS/MEMS 集積化に向けた酸化膜ブリッジ構造による相互配線の形成	高尾英邦
149	2007/03/19 ~20	日本機械学会 情報・知能・精密機器部門 IIP2007 講演会	自動位置決めによる表面実装素子のウェハレベル搭載技術と無線駆動マイクロセンサデバイスへの適用	高尾英邦
150	2007/03/27 ~30	2007 年春季 第 54 回応用物理学関係連合講演会	3 epi-Si/ γ -Al ₂ O ₃ ヘテロ構造を用いた共鳴トンネルダイオード構造の TEM 観察	石田 誠
151			4 epi-Si/ γ -Al ₂ O ₃ ヘテロ構造を用いた共鳴トンネルダイオードでの I-V 特性におけるヒステリシスの研究	石田 誠
152			エピタキシャル Al ₂ O ₃ /Si 基板上への高配向 Pb(Zrx, Ti1-x)O ₃ /LaNiO ₃ 薄膜の形成と価	石田 誠
153			γ -Al ₂ O ₃ /Si 基板上への SrRuO ₃ エピタキシャル成長	石田 誠
154			吸光度測定マイクロチップ用集積化温度制御機構の設計と製作	高尾英邦
155	2006	日本金属学会春期全国大会	シリコンとガラスの陽極接合部の組織に及ぼす接合条件因子の影響	大橋 修
156	2007/04/26	第 14 回複合材料界面シンポジウム	多分岐ポリアミドアミンをグラフトしたシリカによるエポキシ樹脂の硬化物の特性	坪川紀夫
157	2007/09/22	第 55 回高分子学会討論会	ポリマーをグラフトしたシリカによるエポキシ樹脂の硬化物の特性	坪川紀夫
158	2006	Proceedings of The 19th IEEE International Conference on Microelectromechanical Systems (MEMS 2006)	Self-Propagating Explosive Reactions in Nanostructured Al/Ni Multilayer Films as A Localized Heat Process Technique for MEMS	生津資大
159	2006	Proceedings of The 3rd Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT 2006)	Mechanical Property Measurements of Au-Sn Eutectic Solder Film by Tensile/Shear Deformation Tests	生津資大
160			Thermomechanical Constitutive Characterization of Ti-Ni SMA Films for Design of MEMS Actuator	生津資大
161	2006	Proceedings of International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC'06)	Ti-Ni Shape Memory Alloy Film Cantilever Actuator for Micro-Probing	生津資大
162	2006		Mechanical Properties of Fe-Pd Ferromagnetic Shape Memory Alloy Thin Films Prepared by Dual Source DC Sputtering	生津資大
163	2006	Extended Abstracts of International 21st Century COE Symposium on Atomistic Fabrication Technology	Determination of Elastic-Inelastic Constitutive Relationships for Sputtered Gold-Tin Film by Uniaxial Tensile Testing	生津資大

164	2007	Proceedings of The 20th IEEE International Conference on Microelectromechanical Systems (MEMS 2007)	A Simple Determination Method of in-Plane Poisson's Ratio for MEMS Materials by Means of on-Chip Pure Bending Test	生津資大
165	2006/10/05	電気学会 第 23 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム (口頭発表)	Computer Aided Engineering Systems for Micro Electro-Mechanical Systems MEMS-One	小寺秀俊
166	2007	NNT2007	Time Evolution of Resist Deformation in Thermal Nanoimprint Lithography	Y. Hirai, et al.
167	2007	電気学会 第 24 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム (口頭発表)	粘弾性体材料モデルを用いた熱ナノインプリントの有限要素解析手法	大西有希
168	2007	MNE2007	Pressure and Resist Thickness Dependency of Resist Time Evolution Profiles in Nanoimprint Lithography	Y. Hirai, et al.
169	2007	MNE2007	Analysis of Time Dependent Polymer Deformation based on a Viscoelastic Model in Thermal Imprint Process	H. Takagi, et al.
170	2007	精密工学会秋季大会	ナノインプリント解析システム用材料データベースの開発	高木 他
171	2007	EIPBN2007	Time Evolution of Resist Deformation in Thermal Nanoimprint	Y. Hirai, et al.

論文

番号	発表日	発表先	題名	発表代表者
1	2007/10	日本材料学会「材料」マイクロマテリアル特集号掲載予定	MEMS パッケージ封止接合部の強度信頼性評価	片桐大輔
2	2006	電気学会論文誌	FEM Computation of Magnetic Fields in Anisotropic Magnetic Materials	藤原耕二
3	2005	電気学会静止器・回転機合同研究会	ニュートン・ラフソン法と ICCG 法の収束特性を利用した非線形反復解法の高速度化	藤原耕二
4	2006	電気学会静止器・回転機合同研究会	電磁界数値解析で役立つ解析積分公式集 (その 7)	藤原耕二
5	2005	IEICE Electronics Express Vol.2	Self-Assembly Technique for MEMS Vertical Comb Electrostatic Actuators	藤田博之
6	2005	IEICE Electronics Express Vol.2	A two-dimensional f-theta micro optical lens scanner with electrostatic comb-drive XY-stage	藤田博之

7	2005	レーザー研究 vol. 33	Vertical Comb 型静電駆動ミラーの安定化と光ファイバ可変減衰器への応用	藤田博之
8	2005	電気学会論文誌E, 2005年125巻7号	単結晶シリコンウェハのミクロンサイズにおける破壊靱性評価	肥後矢吉
9	2005	材料 (別冊), 2005年54巻10号	マイクロサイズ試験片による TiAl 基金属化合物の破壊じん性試験	肥後矢吉
10	2005	Key Engineering Materials, 2005年297-300巻 (Jan.)	Toughness Measurement of a Micro-Sized Single Crystal Silicon	肥後矢吉
11	2005	Key Engineering Materials, 2005年297-300巻 (Dec.)	The Effect of Sample Preparation upon the Fracture Toughness of Microsized TiAl	肥後矢吉
13	2005	Fracture and Fatigue of Engineering Materials and Structures, 2005年28巻7号	Fatigue and Fracture of a Ni-P Amorphous Alloy Thin Film on the Micrometer Scale	肥後矢吉
14	2006	EEE Transactions on Electron Devices, in print, 2006	Monolithic Silicon Smart Tactile Image Sensor with Integrated Strain Sensor Array on Pneumatically Swollen Single Diaphragm Structure	高尾英邦
15	2006	Sensors and Actuators B Chemical, in print, 2006	Performance of Absorption Photometry Microchip for Blood Hemoglobin Measurement Integrated with Processing Circuits and Si (110) 45°-Mirrors	高尾英邦
16	2006	Japanese Journal of Applied Physics, Part 2 Letter, Vol.45, No.04, 2006	Improvement of MOS Interface Characteristics in CMOS on Si(111) by Combination of Fluorine Implantation and Long-Time Hydrogen Annealing	高尾英邦
17	2005	Japanese Journal of Applied Physics, Vol.44, No.4B, 2005	Realization of In Situ Doped n-Type and p-Type Si-Microprobe Array by Selective Vapor-Liquid-Solid (VLS) Growth Metho	高尾英邦
18	2005	Sensors and Materials, Vol.17, No.5, 2005	Fabrication of a High-Temperature Silicon Pressure Sensor Using SDB-SOI Technology	高尾英邦
19			MEMS based high dose radiation resistant SOI pressure sensor for aerospace applications	高尾英邦
20	2005	Sensors and Actuators A Physical, Vol.119, 2005	A MEMS Microvalve with PDMS Diaphragm and Two Chamber Configuration of Thermo-Pneumatic Actuator for Integrated Blood Test System on Silicon	高尾英邦
21	2005	Key Engineering Materials, vols.297-300, 2005.	XRD Tensile Test Technique to Measure Mechanical Properties of Micron-Thick Si and TiN Films	生津資大
22	2005	IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, vol.125, No.9, 2005.	Mechanical Properties of Polycrystalline Titanium Nitride Films Measured by XRD Tensile Testing	生津資大

23	2006	IEEE/ASME Joint Journal of Microelectro mechanical Systems, vol.15, No.1, 2006.	Development of AFM Tensile Test Technique for Evaluating Mechanical Properties of Sub-Micron Thick DLC Films	生津資大
24	2005	J. of Metastable and Nanocrystalline Materials, 24-25(2005)	Nanoforming of metallic glass with nano-scale die fabricated by focused ion beam	早乙女康典
25			Characterization of super-precision microgear made of Ni-based metallic glass	早乙女康典
26	2006	Journal of Alloys and Compounds (2006)	Superplastic nanoforming of optical components of Pt-based metallic glass	早乙女康典
27	2007	Materials Science Forum, 539-543 (2007)	Superplastic nanoforging of Pt-based metallic glass with dies of Zr-BMG and glassy carbon fabricated by focused ion beam	早乙女康典
28	2007	Nanotechnology, 18(2007)	Nano-fabrication with metallic glass – an exotic material for nano-electromechanical systems	早乙女康典
29	2007	IEEE JSTQE vol.13, no.2, 2007	A silicon micromachined f-theta microlens scanner array by double-deck device design technique	藤田博之
30	2006	IEICE Elec. Express vol.3, no.9, 2006.	A high fill-factor comb-driven XY-stage with topological layer switch architecture	藤田博之
31	2006	J. Vac. Sci. Technol. B vol.24, no.2, 2006	RF microelectromechanical system device with a lateral field-emission detector,	藤田博之
32	2006	IEEE Photon. Tech. Lett. vol.18, no.1,2—6, 2006.	ptically modulated MEMS scanning endoscope	年吉 洋
33	2006/05	Philosophical Magazine Letters, Vol.86, No.5	Irradiation-induced formation of single-variant nanocrystals in an amorphous alloy	肥後矢吉
34	2006/01	Mater. Sci. Eng., A, A426(1-2)	Fatigue strength of small-scale type 304 stainless steel thin films	肥後矢吉
35	2007	日本金属学会誌, vol. 71, No. 2	電解研磨による微小サイズ引張試験片作製法の開発	肥後矢吉
36	2007	IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 2007.	Wafer-level integration technique of surface mount devices on a Si-wafer with vibration energy and gravity force	高尾英邦
37	2007/05	IEE Japan Transactions	Evaluation of Monolithically Integrated Antennas and RF Transmitters for Silicon Smart Micro Sensors with Wireless-Communication Ability	高尾英邦
38	2007/05	IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.53, No.5	Monolithic Silicon Smart Tactile Image Sensor with Integrated Strain Sensor Array on Pneumatically Swollen Single Diaphragm Structure	高尾英邦

39	2006	Sensors and Actuators B: Chemical Volume 117	Fabrication of a two-dimensional pH image sensor using a charge transfer technique	高尾英邦
40	2006	Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.119	Performance of Absorption Photometry Microchip for Blood Hemoglobin Measurement Integrated with Processing Circuits and Si (110) 45°-Mirrors	高尾英邦
41	2006	Semicon. Sci. Tech., Vol.21	Properties of a pn junction developed with a Si microprobe by vapour-liquid-solid growth using in situ doping	石田 誠
42	2006	Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45	Electrical characteristics of epitaxial γ -Al ₂ O ₃ /Si for quantum tunneling device	石田 誠
43			Characterization of Highly Sensitive pH Sensors with Charge Accumulation Operation	石田 誠
44	2006/11	映情学技報, Vol. 30, No. 59	フィルタレス蛍光検出センサによるリアルタイム蛍光測定	高尾英邦
45	2006	日本金属学会全国大会概要集	シリコンとガラスの陽極接合部に及ぼす接合条件因子の影響	大橋 修
46	2006/12	日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部連合講演会概要集	シリコンとガラスの陽極接合部に及ぼす接合条件因子の影響	大橋 修
47	2006	IEEE/ASME Joint Journal of Microelectromechanical Systems, vol.15, no.1	Development of AFM Tensile Test Technique for Evaluating Mechanical Properties of Sub-Micron Thick DLC Films	生津資大
48	2006	Vacuum, vol.80, no.3	Thermomechanical Behavior of Ti-Ni Shape Memory Alloy Films Deposited by DC Magnetron Sputtering	生津資大
49			Stress Control of a-SiC Films Deposited by Dual Source DC Magnetron Sputtering	生津資大
50	2006	精密工学会誌, 第 72 巻, 第 7 号	斜入射スパッタリング法による特異な微細構造を有する金属薄膜の形成	生津資大

プレス発表等

番号	発表日	発表先	題名	発表代表者
1	2005/10/05	MEMS now and in the near future - ready for new challenges?	Introduction of MEMS-ONE project constructing MEMS infrastructure	廣部嘉道
2	2005/11/09	マイクロマシン展	MEMS-ONE プロジェクト中間成果発表会	小寺秀俊
3	2006/02/28	2006 マイクロマシン/ME MS 技術大全 (電子ジャーナル)	MEMS-ONE プロジェクトの設計・解析ツール “MemsONE”	廣部嘉道
4	2006/07/05	K A S T 講習会	MEMS 向き CAD “MEMS-ONE プ	小寺秀俊

			プロジェクトの概要”	
5	2006/10/13	関西:設計製造ソリューション展	MEMS用設計・解析支援システム “MemsONE”の機能概要紹介	小寺秀俊
6	2006/10/20	第7回東北CAE懇話会	MEMS用設計・解析支援システム “MemsONE”の概要と機能	小寺秀俊
7	2006/11/08	マイクロマシン展	MEMS-ONEプロジェクト成果発表会	小寺秀俊
8	2006/11	電子材料, 11月号	MEMS設計を支援する MemsONE システム	廣部嘉道