

MEMS用設計・解析支援システム 開発プロジェクト

「(3)プロセス解析ツールの開発」

詳細説明

2007年11月7日

みずほ情報総研株式会社

開発の背景

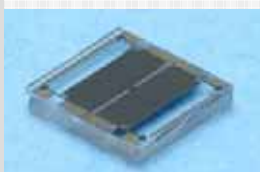
- MEMSプロセス設計の難しさ
- MEMS産業への新規参入拡大



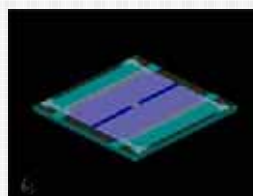
- MEMSプロセス/デバイス設計者が違和感なくCADモデルを構築したい
- MEMS設計新規参入研究者のための設計効率化支援
- MEMSプロセスの最適化支援



MEMSプロセスシミュレータもしくはエミュレータによりプロセスレシピに従ったMEMS加工構造をCADにより実現し、総合的に検証、評価するシステムが必要



CADによる表現
→
プロセス最適化



→
機構解析に利用

研究開発の最終目標

プロセス解析ツールの開発について、以下を開発する。

1. 異方性ウェット・エッチング・プロセス・シミュレータ
2. ドライエッチング・プロセス・シミュレータ
3. 成膜プロセス・エミュレータ
4. マルチプロセス・エミュレータ
5. ナノインプリント加工・解析システム

MemsONE全体システム構成



【事業原簿 p.iii-1】

目標値の設定理由

開発技術	目標値	目標値設定理由
プロセス解析ツールの開発	開発したプロセス解析ツールを用いて3次元MEMSデバイス構造(ヒンジを有したミラー構造、両持ちブリッジ構造)を作成し、実際に試作したデバイス構造と比較評価する	MEMS設計に関わるユーザがMEMSプロセスの観点から、デバイスCAD構造を構築したり、プロセス条件による評価が可能なシステムとした。
ナノインプリント加工・解析システムの開発	熱および光ナノインプリント加工解析の解析モデルを構築を行い、ナノインプリント・プロセス解析シミュレータの開発・評価検証を完了し、実測値と予測値の解析精度が50%以上とする。	熱および光ナノインプリント加工解析を実施することにより、プロセスの最適化が可能となるシステムを実現することとした。

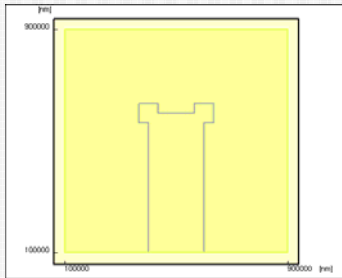
研究開発成果

異方性ウェット・エッチング・プロセス・シミュレータの開発

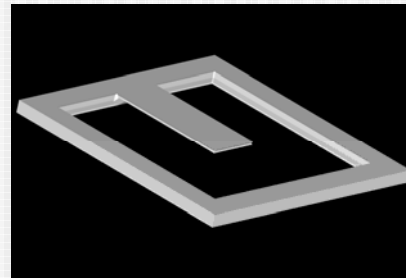
研究開発の概要

材料・プロセス・データベースのエッチングデータ(各面方位のエッチングデータ)を基に3次元エッチング・プロファイルの過渡変化を予測する異方性ウェット・エッチング・プロセス解析シミュレータを開発した。

- エッチング条件考慮
- マスクレイアウト
- エッチング表面頂点の軌跡ベクトル計算



マスクパターン

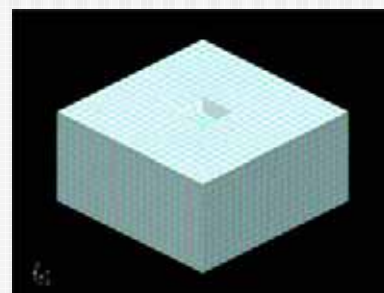
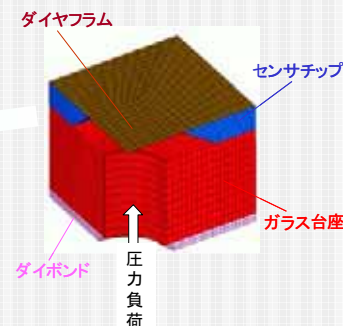
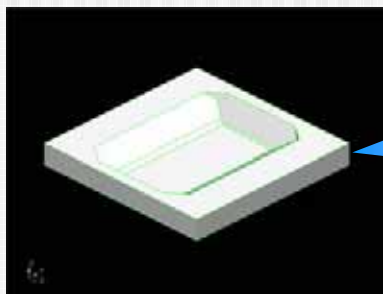


エッチング形状

研究開発成果

異方性ウェット・エッチング・プロセス・シミュレータの開発 検証解析

圧力センサ(松下電工株式会社)の基板部分をシミュレータで形成



解析結果の機構解析シミュレータ利用メッシュ生成可能

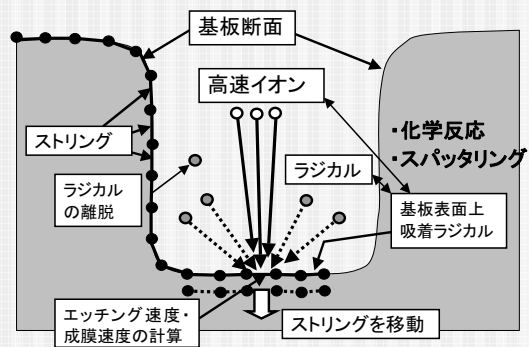
研究開発成果

ドライエッチング・プロセス・シミュレータの開発

研究開発の概要

- ドライエッチング・プロセスによる被エッチング材料上の表面反応と形状変化を2次元で解析
- 2次元断面におけるエッチング形状を確認することを可能とするドライエッチング・プロセス・シミュレータを開発
- 2次元マスクデータに基づき、フレームワークソフトの機能であるソリッド・モデラ(立体モデル生成機能)を用いて3次元形状を構築

プロセス条件と計算パラメータの実測結果を用いたフィッティング解析



【事業原簿 p.iii-6】

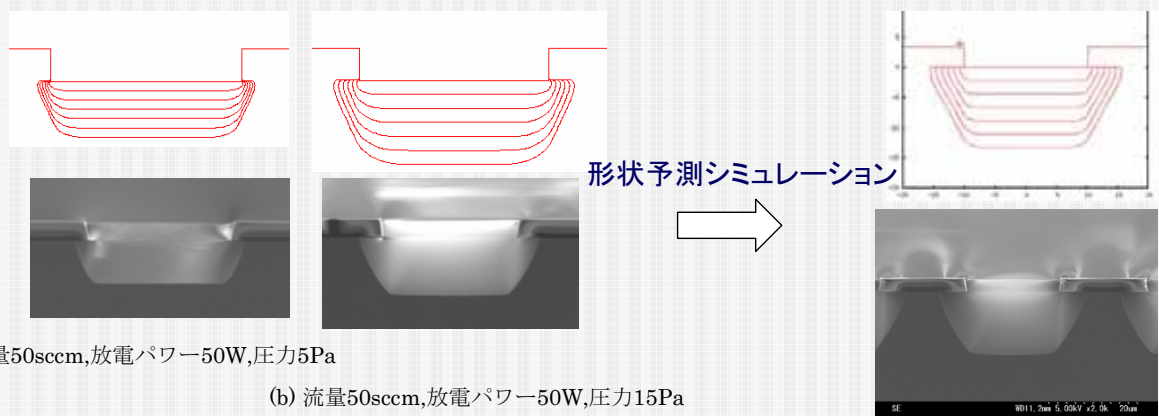
研究開発成果

ドライエッチング・プロセス・シミュレータの開発 検証解析

- 独立法人産業技術総合研究所の協力による
実測値(放電パワー75W、圧力20Pa、流量50sccm)とシミュレーション結果の比較検証

フィッティング解析結果。フィッティング形状と実測値は~8%程度の誤差でよく一致

形状予測シミュレーション結果



(a) 流量50sccm,放電パワー50W,圧力5Pa

(b) 流量50sccm,放電パワー50W,圧力15Pa

形状予測値と実測値と比較して数%程度の誤差で一致することが確認できた。

【事業原簿 p.iii-6】

フレームワーク・CAD
モデル機能制限と連携

研究開発成果

マルチプロセス・エミュレータの開発(成膜プロセスを含む)

研究開発の概要

フレームワークソフトの機能であるプロセスレシピ、材料・プロセス・データベース、知識データベース等の情報を基に、幾何学的手法を用いて3次元構造および2次元断面形状を作製するマルチプロセス・エミュレータ(成膜プロセスを含む)を開発した。

ーエッチング

- ・犠牲層およびエッチストップ層を含む異方性ウェット・エッチング・プロセス
- ・プラズマ、イオンビームによるドライ・エッチング
- ・等方性エッチング

ー成膜

- ・物理気相法(Physical Vapor Deposition)
- ・化学気相法(Cheical Vapor Deposition)

ー接合

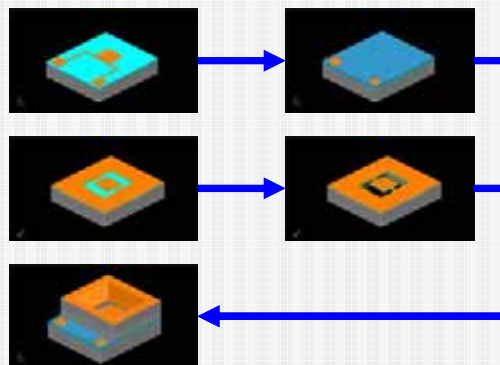
- ・基板、あるいは部品の陽極接合

ーリソグラフィ

- ・レジスト塗布、マスク転写、現像等の工程

ー切削

- ・マイクロ穴加工
- ・基板の切削

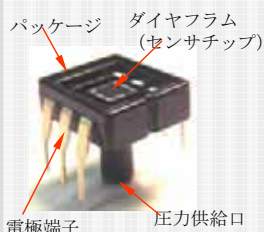


【事業原簿 p.iii-11】

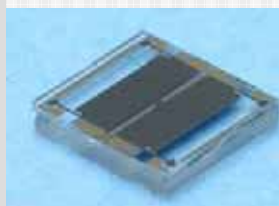
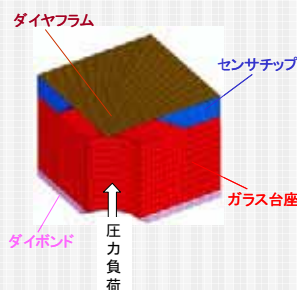
研究開発成果

マルチプロセス・エミュレータの開発(成膜プロセスを含む) 検証解析

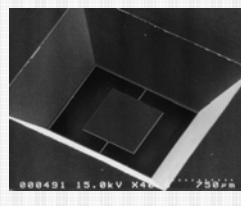
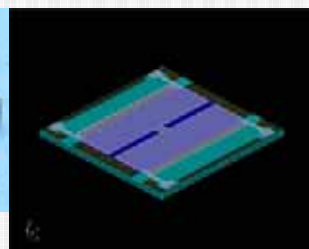
- 検証モデル(圧力センサ、RFスイッチ、静電駆動ミラー)
- プロセスレシピからマルチプロセス・エミュレータを用いてCADモデルを作製
- 測定形状とよく一致することを確認



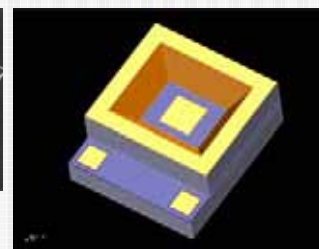
圧力センサ(松下電工株式会社) モデル作製



RF-MEMS(オムロン株式会社) モデル作製



光スキャナ(オリンパス株式会社) モデル作製



【事業原簿 p.iii-11】

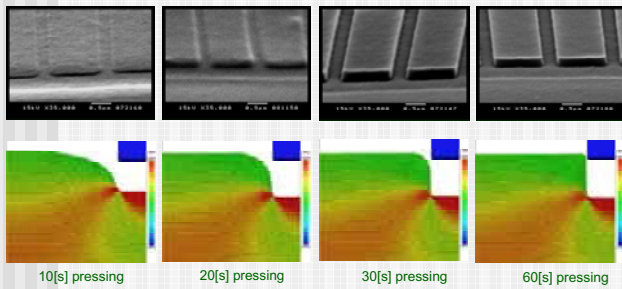
研究開発成果

熱ナノインプリント加工解析システムの開発

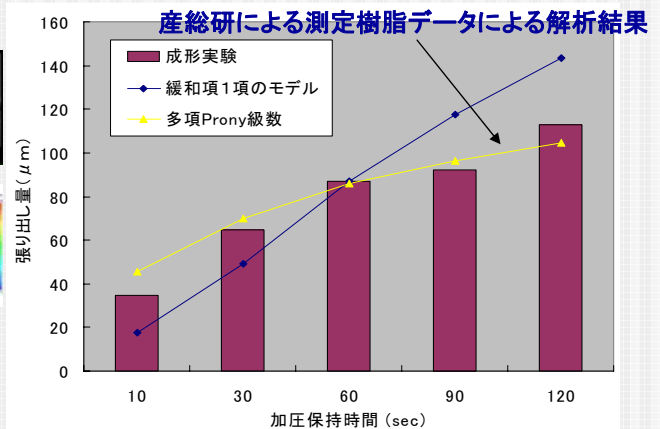
世界に類のない
解析システム

熱ナノインプリント加工解析システムのモデル

- 加熱→押込→保持→冷却→離型の複数のプロセスを連続して解析 → 粘弾性、大変形、接触問題、
- 「静的微小変形」、「静的大変形」、「準静的微小変形」、「準静的大変形」、「定常熱伝導」の5つの解析プロシージャ
- 材料に対するモデルとして、樹脂材料モデルと金型材料モデルを構築し、各々の相互作用モデルを開発



実験検証例題の比較結果



- 熱ナノインプリント実験結果と計算結果の比較(加圧時間の変形量への影響)
- 実測値と予測値との解析精度は実験誤差の範囲で一致

【事業原簿 p.iii-19】

研究開発成果

熱ナノインプリント加工解析システムの開発

熱ナノインプリント加工解析システムに関わる論文投稿 実績

- Y. Hirai, et. al, "Time Evolution of Resist Deformation in Thermal Nanoimprint Lithography", [NNT2007](#)
- 大西 他, "Finite Element Analysis of Polymer Deformation in Thermal Nanoimprint Based on Viscoelastic Generalized Maxwell Model", [センサ・マイクロマシンと応用システム・シンポジウム](#)
- Y. Hirai, et. al, "Pressure and Resist Thickness Dependency of Resist Time Evolution Profiles in Nanoimprint Lithography", [MNE2007](#)
- H. Takagi, et. al, "Analysis of Time Dependent Polymer Deformation based on a Viscoelastic Model in Thermal Imprint Process", [MNE2007](#)
- 高木 他, "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", [精密工学会秋季大会](#)
- Y. Hirai, et. al, "Time Evolution of Resist Deformation in Thermal Nanoimprint ", [EIPBN2007](#)

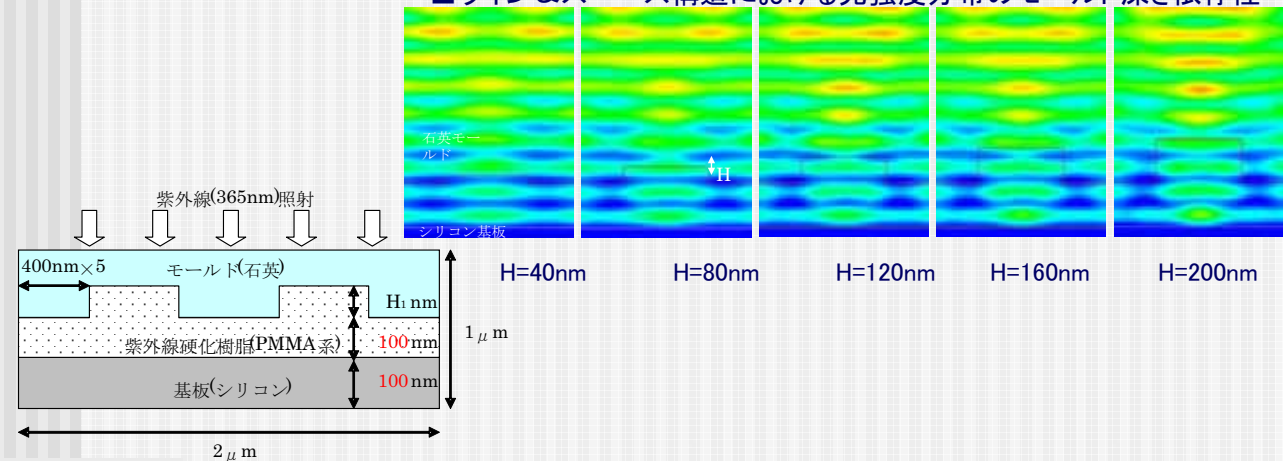
研究開発成果

光ナノインプリント加工解析システムの開発

光ナノインプリント加工解析システムのモデル

- FDTD (Finite Difference Time Domain)法による電磁波解析プログラム
- 光硬化樹脂内の光強度分布を求める
- 入射波は、平面波とし、そのスペクトルは正弦波の重ね合わせで定義する。
- 解析結果出力として、時間/周波数領域の電磁界分布の他に、観測点の電圧・電流値変化、放射パターン、入力インピーダンス、Sパラメータ等を出力

■ ライン&スペース構造における光強度分布のモールド深さ依存性

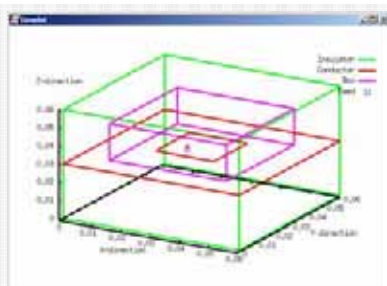
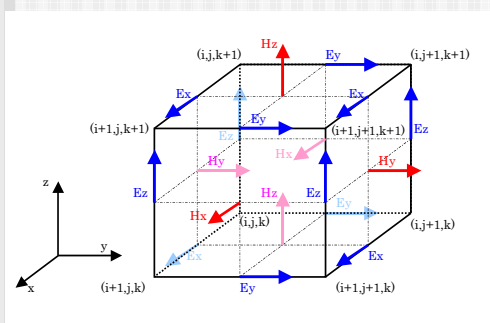


【事業原簿 p.iii-24】

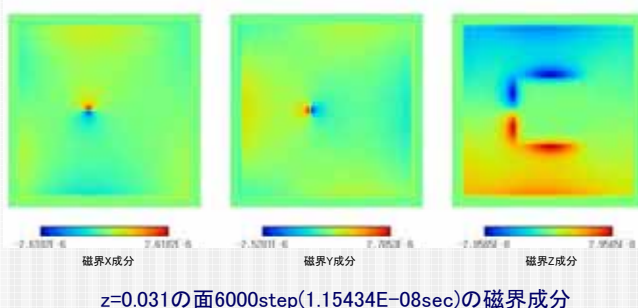
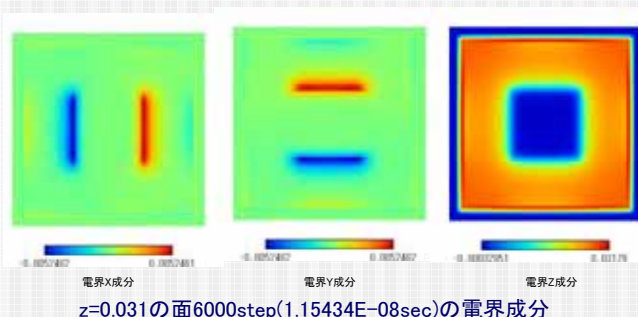
研究開発成果

光ナノインプリント加工解析システムの開発

- 電磁波解析ツールとしての利用も可能
- 国立大学法人岡山大学作製の電磁波解析プログラムの解析結果との比較



パッチアンテナ解析モデル



【事業原簿 p.iii-24】

(1) 目標の達成度

研究項目	目標	成果	達成度
異方性ウェット・エッチング・プロセス・シミュレータの開発	異方性ウェット・エッチング・プロセス解析シミュレータとフレームワークソフトへの結合およびシステム統合を実現させ、結合検証テストおよび統合検証テストを完了する。	異方性ウェット・エッチング・プロセス解析シミュレータとフレームワークソフトとの統合し、検証解析結果より、実際のデバイス形状とシミュレーション結果が良く一致することを確認した。	○
ドライエッチング・プロセス・シミュレータの開発	ドライエッチング・プロセス・シミュレータの開発を完了し、フレームワークソフトとの結合検証テスト、および統合検証テストを完了する。	ドライエッチング・プロセス・シミュレータを開発し、解析結果と実際のプロセス結果との比較評価を実施し、数%程度の誤差で一致することが確認した。	○
マルチプロセス・エミュレータの開発(成膜プロセス・エミュレータを含む)	マルチプロセス・エミュレータを開発し、3次元MEMSデバイス構造を作成し、実際に試作したデバイス構造と比較評価する統合検証テストを完了する。	3次元MEMSデバイス構造(ヒンジを有したミラー構造、両持ちブリッジ構造)を作成し、実際に試作したデバイス構造と比較評価し、モデル形状と実デバイス形状が良く一致することを確認した。	○
ナノインプリント加工・解析システムの開発	熱および光ナノインプリント加工・解析の解析モデルを構築を行い、ナノインプリント・プロセス解析シミュレータの開発・評価検証を完了し、実測値と予測値の解析精度が50%以上とする。	熱および光ナノインプリント・プロセスモデルを構築し評価検証をした。実験検証では成型形状比較により、 解析結果と実験結果が実験誤差の範囲で一致している事 を確認した。	◎ (論文には高い評価が得られた)

(2) 成果の意義

研究項目	成果の意義
異方性ウェット・エッチング・プロセス・シミュレータの開発	開発された異方性ウェット・エッチング・プロセス・シミュレータを用いることで3次元エッチング・プロファイルの過渡変化を予測することが可能であり、 結晶異方性エッチングを用いた形状作製プロセスにおける補償マスク等のマスク設計の効率化や、プロセス最適化が図れる点で意義がある。
ドライエッチング・プロセス・シミュレータの開発	開発されたドライエッチング・プロセス・シミュレータを用いることで2次元エッチング・プロファイルの過渡変化を予測することが可能であり、ドライエッチング・プロセスを用いた形状作製プロセスにおけるプロセス最適化が図れる点で意義がある。
マルチプロセス・エミュレータの開発(成膜プロセス・エミュレータを含む)	開発されたマルチプロセス・エミュレータを用いることでプロセスレシピとマスクデータからMEMSデバイスの機械的、電気的な特性を解析する時に必要となる MEMSデバイスのCADモデルが容易に作製することが可能となり、MEMSの機械的、電気的な特性評価の効率化が図られるものと期待される点で意義がある。
ナノインプリント加工・解析システムの開発	ナノインプリント加工解析システムの開発により、ナノインプリント・プロセスの各種条件の検討が、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を利用した熱ナノインプリント加工解析システム、光ナノインプリント加工解析システム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点で意義がある。