

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	集積化MEMS技術による機能融合・低消費電力エレクトロニクス
研究機関・部局・職名	東京大学・先端科学技術研究センター・教授
氏名	年吉 洋

【研究目的】

集積化MEMS (Integrated Micro Electro Mechanical Systems) 技術とは、半導体微細加工技術を応用してシリコン基板上にマイクロ寸法の可動機械構造を集積化し、それによって集積回路 (LSI) エレクトロニクスに新たな付加価値をもたらそうとする More-than-Moore 技術の総称であり、次世代の革新的製造技術・省エネデバイス技術として我が国の研究開発ロードマップにも取り上げられている。本研究では集積化MEMS技術の応用ターゲットを「低消費電力エレクトロニクス」に定め、それを実現するための設計・製造技術の汎用化を目標として、研究期間内に下記の項目 (1) ~ (4) を重点的に実施する。

- (1) MEMS機械構造と電子回路のマルチフィジクス統合設計基盤技術の開発
Spice等の電気回路シミュレータ上にMEMSマイクロアクチュエータ・センサの等価回路ライブラリを構築し、電気系と機械系を組み合わせたシステム全体の挙動を見通しよく設計するための基盤技術を開発する。また、アクチュエータ・センサの物理量・物理現象を記述するモデルを等価回路に置き換え、それらを電気回路シミュレータに組み込むことで、複数の物理現象を同一設計プラットフォーム上で解析する汎用的なマルチフィジクス統合設計基盤技術を構築する。
- (2) ウエハレベル集積化MEMS基盤技術の開発
LSIウエハ (設計ルール $0.18\mu\text{m}$ 、 $0.35\mu\text{m}$ (ほか)) の上にめっき金属、スパッタ製膜絶縁膜、ラミネート加工フィルムなどを積層することで、LSI上に機械的に可動なMEMS構造を集積化し、かつ、ウエハレベルでのパッケージングを行う先進的なポストプロセス技術を構築する。
- (3) 集積化MEMS理工学研究開発の具体的実施
上記 (1)、(2) で構築した基盤技術を用いて、集積化MEMS理工学の具体的な応用デバイス開発を実施する。また、下記の3デバイスの開発を進める過程で、上記 (1)、(2) の設計技術、製造技術の汎用化を推進する。
 - (a) LSI低消費電力化のための集積化パワーゲートスイッチ
スマートフォンに代表されるモバイル機器には、通話機能以外にもデジタルカメラや加速度センサを用いた動きの検出、電子コンパスによる方位の

検出などの様々な機能の搭載が進んでおり、消費電力の増大が課題になっている。そこで本研究では、使用していない回路ブロックへの電力を完全に遮断するためのパワーゲートスイッチとして、従来のトランジスタスイッチよりもリーク電流の小さな集積化MEMSスイッチを開発する。

(b) 超小型光ファイバ内視鏡のための自律制御型MEMS光スキャナ

研究代表者はこれまでに、心臓近傍の血管内壁に付着した老廃物の断面観察を目的とした低侵襲医療用の超小型光ファイバ内視鏡向けのMEMS光スキャナを開発してきたが、体外には大型の駆動制御回路が必要であった。そこで本研究では、電力を供給するだけで自励発振する自律型のMEMS光スキャナを新たに構築し、システム全体の小型化を図るとともに、体内外の温度変化に対しても安定に動作するロバストなMEMS設計のありかたを検討する。

(c) マルチバンド携帯電話のための集積化RF-MEMS共振フィルタ

最近の携帯電話には、国内外の通信会社に対応するために合計27バンド以上の高周波無線回路が搭載されており、製造コストの上昇と開発期間の長期化が問題になっていた。そこで本研究では、MEMS駆動機構をもちいて可変フィルタ回路を製作し、モバイル機器の部品点数削減と低コスト化、また、新たな無線機器・サービス開発に貢献する技術を開発する。

(4) 共同研究・共同利用拠点としての運営

研究計画の最終年度には、本研究の成果と集積化MEMSデバイスの共同試作体制に基づいて、継続的な共同研究・共同利用拠点としての運営を展開する。

【総合評価】

○	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】

① 総合所見

本研究課題で目標とした集積化MEMSは当初米国の大学・企業が熱心に研究を進めてきたが、設計ツールの使い勝手などが不十分で進展が滞る場合が多かった。当該研究課題で実施したマルチフィジクス統合設計基盤技術およびウエハレベル集積化MEMS基盤技術開発により、エレクトロニクス技術者やLSI設計者が容易にデバイス設計・製作が可能となり、具体的な集積化MEMSデバイス開発の進展が期待される。また、これを用いた低消費電力エレクトロニクス実現への貢献も期待される。近年、台湾の当該分野の研究レベルが急速に上がって来ており、日本の優位性を確保する上で集積化MEMSの研究開発は益々重要となっている。

② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

計画された研究項目の内、(1) MEMS 機械構造と電子回路のマルチフィジクス統合設計基盤技術の開発および(2) ウエハレベル集積化 MEMS 基盤技術の開発については、当初の目標を達成し、十分な成果を上げて研究が完了している。上記基盤技術を基礎とした(3) 集積化 MEMS 理工学研究開発についても3つの具体的デバイス開発を順調に進め、成果をあげた。また、実施中の(4) 共同研究・共同利用拠点としての運営も研究期間終了後も継続できる形で順調に推移している。また、課題であった集積化 MEMS パワーゲートスイッチの低電圧駆動について、その原因を明らかにし、構造設計の変更により解決できる見通しを得ている。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

シリコンを基盤とした MEMS デバイスは LSI との集積化が可能であると言われてきたが、実際には集積化システムの設計ツールの機能が十分とは言えなかった。本研究課題で開発されたマルチフィジクス統合設計基盤技術およびウエハレベル集積化 MEMS 基盤技術はこの点を克服するもので、これらを用いて試作された具体的なデバイス性能を考慮すると今後の集積化 MEMS 開発に有効に活用することが期待できる。

特筆すべきことがらとして、本研究課題で開発したスイッチド・キャパシタ型制御回路は汎用性が高く設計が容易で、今後実用的な MEMS デバイスの開発に寄与すると考えられることがあげられる。

さらに、本研究課題により新たに MEMS 光スキャナの高速化が可能となり、高機能医療用光断層計測装置に応用されている点は当初の目的の他に得られた成果である。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

研究成果は MEMS 分野で次世代技術基盤となりえると考えられ、ここで見出された成果をもとに種々展開が見込まれる。また、この研究で形成される拠点を軸に横展開も大いに期待できる。

これまでの MEMS 技術をさらに進展させる基盤技術の確立から、集積エレクトロニ

クスとしてのシステム特性評価まで一貫して実施している点、これを社会に発信できる産学拠点を形成している点で、貢献が見込まれる。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

研究体制の整備、予算の執行等、適切に行われた。また、権威ある英文雑誌や採択が難しい IEEE MEMS などでの研究発表が数多くなされている。