

「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト／ 高機能センサネットワークシステムと低環境負荷型 プロセスの開発」 事後評価分科会資料

ープロジェクト詳細説明ー 平成23年11月28日

高機能センサネットワークシステムの開発

- ・半導体クリーンルームセンサネットワークシステム開発
- ・8インチMEMSプロセスラインの構築
→スマートプロトタイピング技術開発
- ・植物工場センサネットワークシステムの開発

<高機能センサモジュール技術開発>

- ・センサモジュール
- ・低消費電力LSI
- ・新センサデバイス原理
 - (i) ナノ構造ガスセンサ, (ii) 低消費電力センサ・無線モジュールへの検討
 - (iii) パーティクルセンサのMEMS化, (iv) 汚染ガスセンサ開発,
 - (v) 振動発電を中心とした小型高効率発電デバイス,
 - (vi) センサ用パワーマネジメントデバイス,
 - (viii) 高感度温度センシング用機能薄膜

研究の概要

- 産総研つくば3D/3B/2G棟にエネルギーマネジメント統合管理システムを開発・導入！
- 検証用クリーンルームにて、1990年度比CO2_60%削減の検証を行い、目標を達成！
- 産総研つくば3B棟にClean On Demand空調制御システムを開発・導入！

技術内容

■ エネルギーマネジメント統合管理システム

- ・見える化項目として、エネルギーおよびエネルギーに影響を与える項目の見える化を実現！
- ・いつでも、どこでも、だれでも、簡単にクリーンルームのエネルギーに関する情報が共有できるようにユーザフレンドリーな情報端末(iPad)を採用！

■ CO2_60%削減について

検証用クリーンルームにて、パーティクル、温湿度に関する基本データを取得し、その知見を空調自動制御(On Demand制御)システム開発に反映！

クラス10、100、1000クリーンルームを擬似的に再現し、塵埃負荷および熱負荷を与えた時のパーティクル量、パーティクル拡散量、温度上昇などの基本データを取得し、1990年度比、CO2_60%削減の検証を実施！

■ エネルギー最適_空調(FFU)自動制御システム(Clean On Demand)

パーティクル量に応じたFFU (Fan Filter Unit)自動制御システムを導入！

用途

■ エネルギーマネジメント統合管理システム

クリーンルームにおけるエネルギーの見える化を行い、クリーンルームのエネルギー削減に繋げる。

■ Clean On Demand空調制御システム

クリーンルームにおける空調機をパーティクル量に応じて自動制御することにより空調電力の削減に繋げる。

目標：

- エネルギーマネジメントシステムの導入
- CO2_60%削減の検証@1990年比

成果まとめ：

- 1) エネルギーマネジメントシステム: 400点以上の見える化項目を実現！
- 2) CO2_60%削減の検証: 検証用CRにて検証完了！

成果の具体的説明

■ エネルギーマネジメント統合管理システム

見える化項目

電力量(生産設備、空調設備、付帯設備)、ガス使用量(N2、SF6、C4F8)、純水使用量、温湿度(多点)、設備排気量、パーティクル量(多点)、人在室情報、設備稼働情報。

合計: 441点(3D棟157点、3B棟179点、2G棟105点)

■ CO2_60%削減について

2010年度までに1990年度比: 50%が実現済み。

更に10%を上積みし60%を実現するためには、空調機(FFU)の電力量(≒CO2)64%削減が必要。

検証の結果、空調機電力を64%にまで低下させても、パーティクル量と室内温度が許容範囲以内であることを検証用クリーンルームで実証完了！

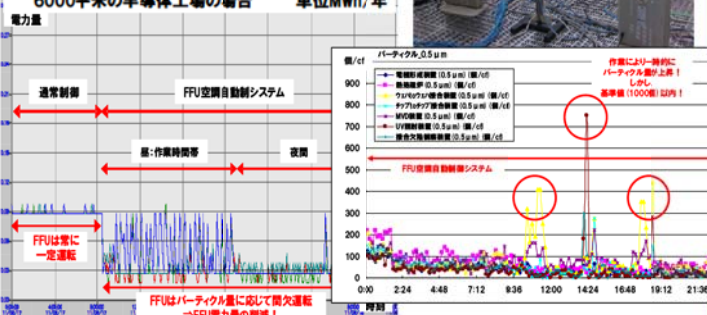
■ エネルギー最適_空調(FFU)自動制御システム

温湿度を満足しつつ、パーティクル量に応じたFFU自動制御システムの実機をつくば3B棟に導入した。



半導体工場(一例)	1990年	2010年	BEANS
冷凍機	6850	3050	3050
冷却水ポンプ	995	590	590
冷却塔	380	260	260
冷水ポンプ	550	300	300
フリークーリング	0	200	200
空調機(FFU)	3700	1800	650
小計	12475	6200	5050
比率	100%	50%	40%

6000平米の半導体工場の場合 単位MWh/年



①オムロンとして事業展開を決定！

- ・オムロン社内にて、BEANS研究所Gデバイスでの研究成果とともにオムロン野洲工場での取り組み成果を共有し、事業化する方向で進めることを決定。プレスリリース(日本経済新聞2011年7月9日)済み。
- ・1Stepとして、顧客を絞って、社外での実績を作り上げ、2012年度以降に本格展開を図る。現在、社外顧客に提案中。



野洲工場

②クリーン度に応じた顧客提案！

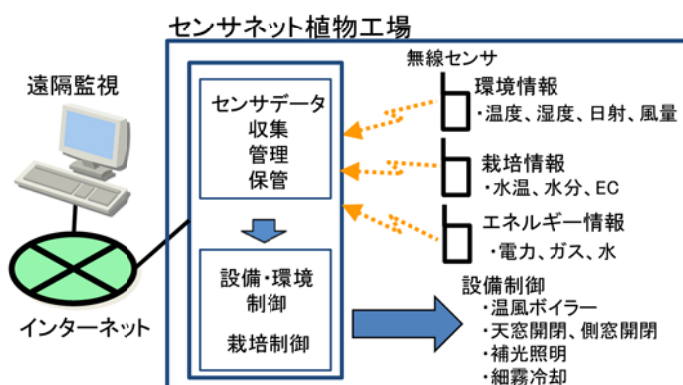
- ・ハイクラスクリーンルーム
 - 電気料金も大きいため、一定規模以上の客先投資金額が見込めるため、数メートル間隔でセンサを設置するシステム構成。
- ・ミドルクラスクリーンルーム
 - 安価なシステム構成とするため、最低限度必要な人感センサとパーティクルセンサでシステム構成。

研究の概要

センサネットを適用した省エネ評価用植物工場を構築し、センサネットの効果及びMEMSデバイスの実用化を検討

技術内容

(1)植物工場の省エネ評価環境構築



(2)植物工場の省エネ制御方式提案

実験内容	A棟(従来棟)	B棟(センサネット)
細霧冷却	・ノズル ・温度とタイマによるオンオフ制御	・ファン+ノズル(2ブロック分割制御) ・温度、湿度を監視してオンオフ制御
補光照明	・ナトリウムランプ ・日射量によるオンオフ制御	・LED(4ブロック分割制御) ・日射量によるオンオフ制御
冬季暖房	・ガスボイラー ・温度によるオンオフ制御	・ガスボイラー+ヒートポンプ(2台) ・温度によるオンオフ制御
土壌灌水	・灌水システム ・タイマーによるオンオフ制御	・灌水システム(3ブロック分割制御) ・土壌水分によるオンオフ制御

植物工場の写真(東京農大世田谷キャンパス)



センサノード



細霧冷却ファン LED照明 ヒートポンプ



制御装置



栽培状況(レタス)



栽培状況(トマト)



目標:

植物工場の省エネを実現する方式の提案

- ・省エネ目標 エネルギー20%削減
- ・植物収穫量 10%改善

成果まとめ:

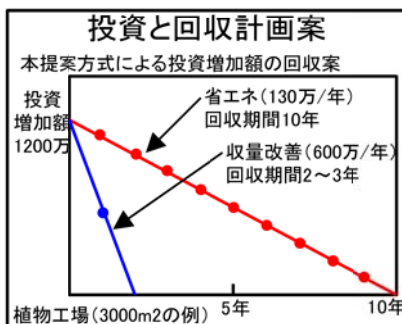
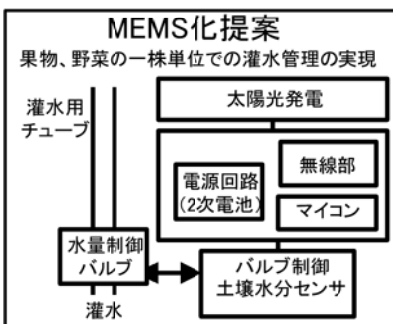
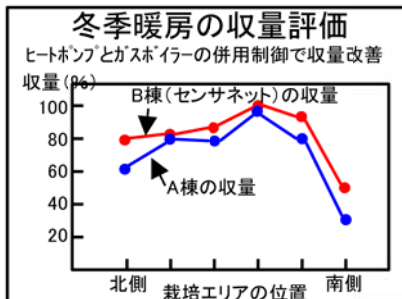
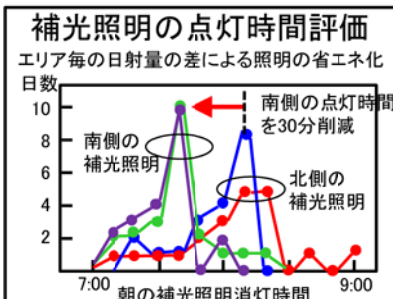
- 1) 植物工場向の省エネ制御方式として、4方式提案
- 2) 省エネ 20%削減、収穫率10%改善
- 3) 灌水ノズルのMESM化提案
- 4) 実用化時の投資回収計画案

省エネ:10年で回収、収量改善を考慮:2~3年で回収見込

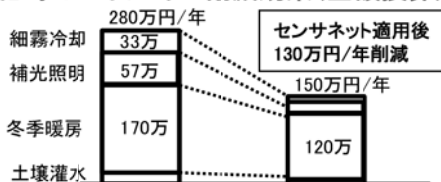
成果の具体的説明

植物工場省エネ実験結果

NO	実験項目	省エネ	秀品率
1	細霧冷却	水の使用量 約75%削減	-
2	補光照明	電力量 約70%削減	リーフレタス秀品率 約10%改善
3	冬季暖房	CO2排出量 約30%~40%削減	リーフレタス秀品率 約10%改善
4	土壤灌水	水の使用量 約80%削減	トマトの糖度 約20%改善



実用化時のエネルギー削減効果(金額換算)



V-75~104 植物工場(3000m2の例)

事業展開

(1)既存植物工場

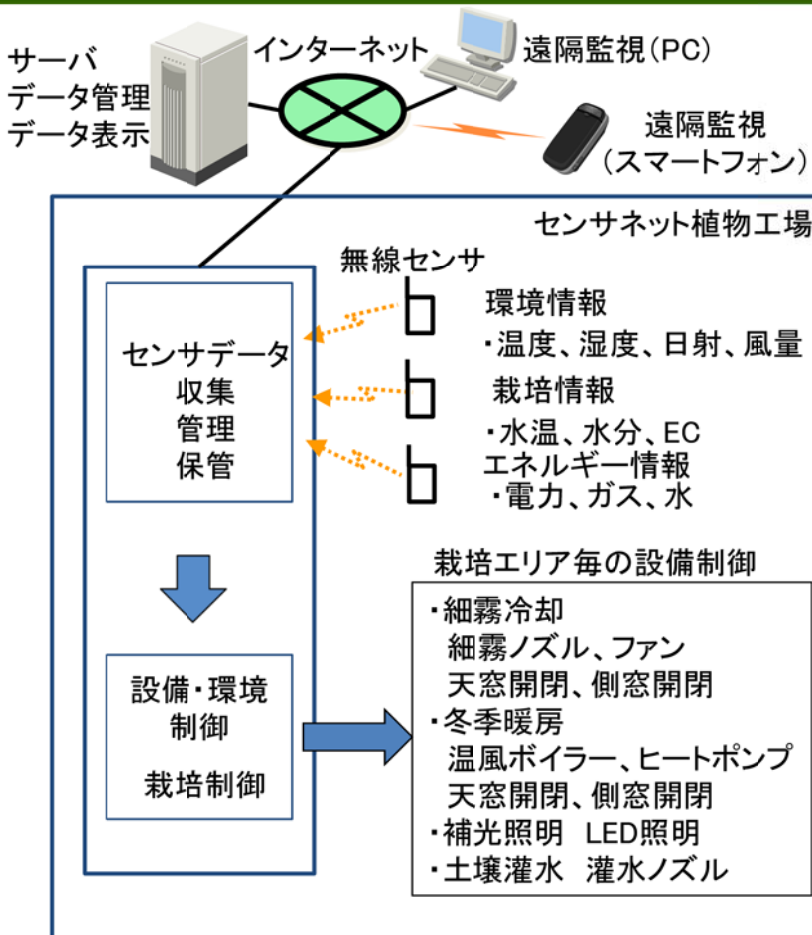
導入が容易な環境、栽培、エネルギー情報計測用センサネットの導入を提案し、植物工場の見える化を推進する。収集したデータは、サーバで管理し、スマートフォン等での遠隔監視に対応する。

(2)新規植物工場

本研究で提案した省エネと収量を改善可能な、細霧冷却、補光照明、冬季暖房、土壤灌水の4つの方式の導入を提案する。どの方式を導入するかは、植物工場の立地条件や栽培する植物に応じて提案する。

(3)露地栽培

環境計測用センサネットは、露地栽培の分野へも提案する。



国内植物工場運営事業市場規模予測



矢野経済研究所推計(2009年)

目標:

クリーンルームの省エネに適したセンサネットワーク用高機能センサモジュール(30mm×30mm×10mm以内)の試作。

成果まとめ:

クリーンルームに適したセンサモジュールプラットフォームを作製。複数のセンサ・無線方式・電池容量から、目的に応じて最適モジュールを構築可能。最小寸法で30mm×30mm×10mmの寸法を達成。

成果の具体的説明

クリーンルームに適したセンサモジュールプラットフォームを作製。(図1)

クリーンルーム内で温・湿度、パーティクル、加速度(ワーク、装置)、気体流量、圧力、等の想定センシング項目をセンシングし無線送信。



[図1]

- 1) 消費電力・電池寿命・サイズ・測定頻度に応じて、図1の基板を活用してモジュールを構成。(図2, 図3)
- 2) 加速度(ワークの移動検知)、気体流量等の常時監視が必要なセンシングについては図1の基板を用いてイベント起動型を構成。(図3)
- 3) 新センサ原理各テーマで構築したセンサ、アルゴリズムの評価に活用できるインターフェースを構築。
(新規購入センサ、位置推定テーマ(RT)での確認)



[図2]



[図3]

開発成果のまとめ

(1) 目標の達成度

・定周期版 平均消費電流	110 μ A	→ 目標どおり	達成
・定周期版 外形寸法(30×30×10mm以内)		→ 目標どおり	達成
・搭載センサ数	3種(最大15種から選択)	→ 搭載3種(最大31種から選択)	達成
準備したセンサ:	温・湿度、照度、フロー(ヒータ式、ピエゾ式)、UV、加速度、ジャイロ)		
無線:	Zigbee、特定省電力(2.4GHz)		
・同時接続モジュール数	定周期 100台	→ 100台	達成
	イベント 50台	→ 50台	達成
・最大通信距離	10m	→ 10m	達成
・サーバ機能		→ 目標通り	達成

(2) 成果の意義

- ・上記寸法内に3種以上のセンサを複数のセンサから選択してコネクタで搭載できる無線方式センサ、モジュールは他に例がない。
- ・センサによっては常時センシングを行い、イベント起動(変化次に信号を送る)タイプも必要である。本センサモジュールは同一回路基板を用いてイベント起動型にも対応している。
- ・センサモジュールは取り付け位置によって、必要なセンシング機能、タイミング等が異なる。実証実験の中で最適なセンサ組合せ、センシング条件の抽出を行う自由度の高いセンサモジュールが必要である。多品種センサの同時搭載が可能な本センサモジュールは本検討に最適なツールである。

(3) 今後の展開

将来的には、環境発電、超低消費電力LSI&無線、イベント起動による待機電力削減等の活用によりメンテナンスフリー(電池レス)化を進めることが普及に向けて重要である。

(4) 論文・特許出願予定

- ・イベント起動型の無線品質向上策(社内調査中)

【事業化見込み】

高機能センサモジュールによって、複数センサ&多点計測による安価で、きめ細かい環境制御が実現でき、省エネルギー化に大きく貢献することができる。

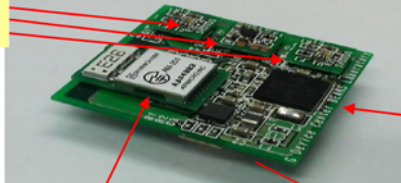
本研究開発の終了後、G/R、製造現場、オフィス等の環境・空調制御による省エネルギー化をターゲットして実用化に向けて、次の改良を引き続き進める。

- 1) メンテナンスフリー化に向けたバッテリーの長寿命化
- 2) 振動・湿度等に外部環境に耐えられるI/F、センサ等の堅牢な構成



サイズ:30×30mm t<10mm

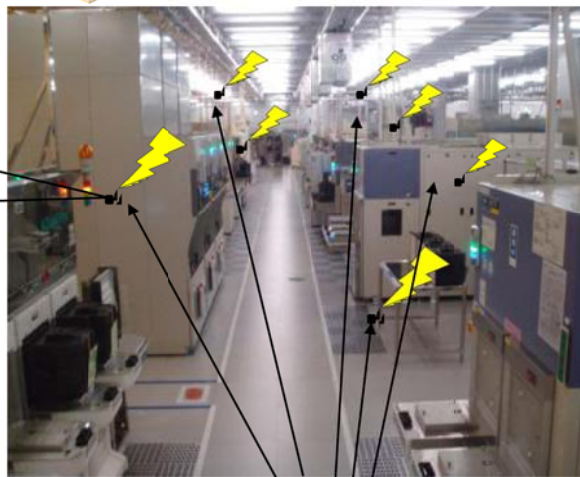
センサ



LSI

無線

電池



センサモジュール

IV-6

■ 研究の概要: 無線センサモジュールの低消費電力化を実現する、実用的なチップ面積と測定精度を有する低消費電力アナログフロントエンド回路の要素技術開発

■ 技術内容:

無線センサモジュールの長寿命化/バッテリーレス化を実現するための要素技術として、低電力アナログ回路技術を開発。

無線センサモジュールにおいて、RF回路に次いでピーク電力の大きいアナログ-デジタル変換回路(ADC)を中心に、アナログフロントエンド(AFE)回路(図1)の消費電力削減技術を開発し、試作実証(図2)。

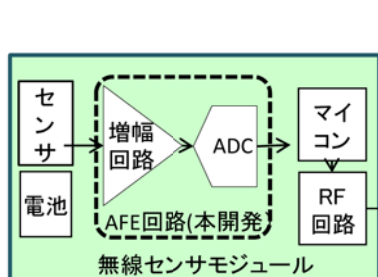


図1: 無線センサモジュールのアナログフロントエンド回路

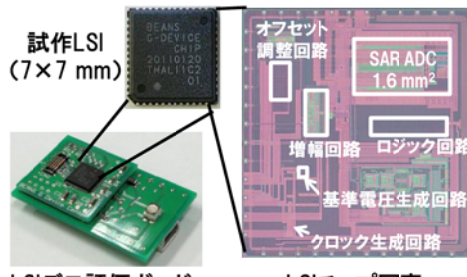
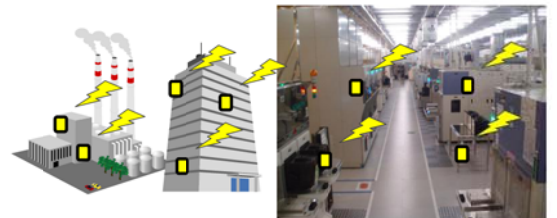


図2: 試作LSIおよび小型デモボード

■ 用途:

AFE回路はセンサシステム構築に必須であり、センサを使用するモジュール・装置・システム全般へ応用可能な基盤技術と成り得る。



HEMS、BEMS他、都市・産業システムの無線センサネットワークシステム



自動車や医療産業機器等のセンサ制御

● 低消費電力LSI(2)

目標:

センサモジュールの長寿命化を目標とした、低消費電力アナログ回路の要素技術開発を行う。センサ信号を増幅・デジタル化するAFE回路LSIを試作し、課題を抽出する。

成果まとめ:

アナログ回路部をデジタル補正することにより、世界最高クラスの低電力性能(2mW)で有効分解能11.7bitのADC回路を小面積(1.6mm²)で実現した。本回路により、アナログフロントエンド回路の消費電力を60%削減できる見通し。

1) アナログ回路の製造ばらつきをデジタル補正することにより、低電圧(1.2V)かつ高速サンプリング(1 μsec)動作のADCを設計し、

■消費電力 2mW、有効分解能11.7 bit

⇒世界最高クラスの低電力性能

■回路実効面積 1.6mm²

⇒一般的な同等性能ADC比で90%以上低減を試作・実証した。

2) 無線センサモジュールの間欠測定動作を想定した場合、AFE回路全体で、

■平均消費電力 ~10 μW以下(1回測定/秒)

の見込みを得た。

⇒従来比60%以上の消費電力削減の見通し

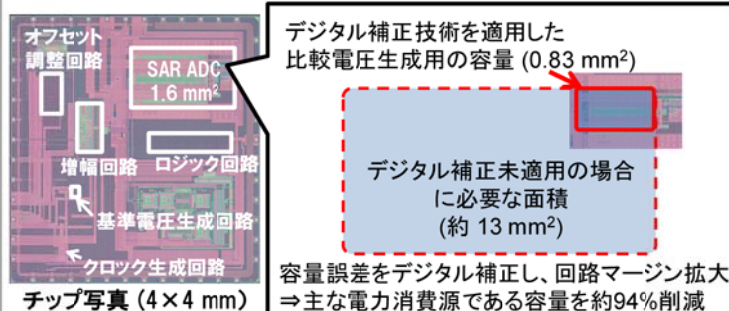


図: 試作LSIとデジタル補正による面積縮小効果

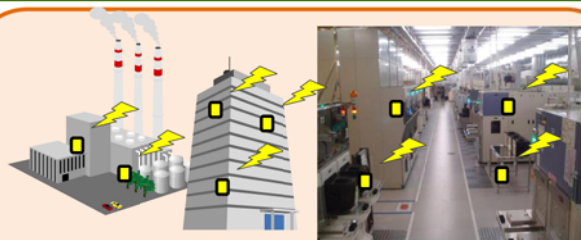
表: ADC性能 (@サンプリング速度 1 μsec)

項目	目標	設計SIM	実測
実効面積 (mm ²)	2.25	1.6	
消費電力 (mW)	5	3	2.06
実効分解能 (bit)	11	~12.5	11.7

■国際学会2件発表: GDMS2011 (2011/2), DTIP2011 (2011/5)

● 低消費電力LSI(3)~実用化見通し

本開発技術をIPプラットフォーム化し
各種センサ応用システムへの適用を検討



HEMS、BEMS等都市・産業システムの無線センサネットワークシステム

センサ用アナログ回路
IPプラットフォーム



自動車や医療産業機器等のセンサ制御

試作LSI (7×7 mm)

LSIデモ評価ボード (22×36mm, USB接続)

低電力・高精度
アナログフロントエンド回路技術
(本開発)

NMEMS研究成果
TIAを活用した開発

位置づけ・目標

1) ターゲットガスの選定

有機ドラフトで使用するガスがSnO₂ガスセンサで検出可能か確認しターゲットガスを選定する

2) センサ小型化及び性能検証

トレンチにSnO₂粒子をポーラス状に埋め込み、センサ部の面積を1/2以下の省スペース化とセンシング感度維持を両立

3) 粒子配列プロセスの大面積化

プロセスの大面積化に伴う課題抽出を行う。

主な成果とその意義

1) ターゲットガスの選定

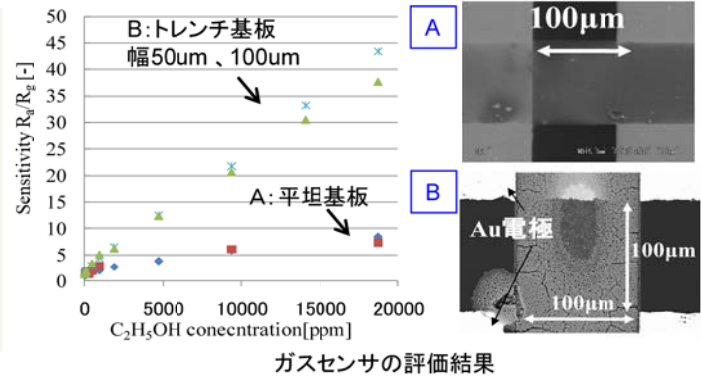
エタノール、アセトン、IPA、シクロヘキサン、トルエン、ヘキサン、クロロホルム、DMF、PGMEA が検出可能。エタノールをターゲットにデバイスの評価実施

2) センサ小型化及び性能検証

センササイズを1/2にし、平坦基板に作製したサンプルと比較してエタノールに対する感度が向上

3) 粒子配列プロセスの大面積化

メソスカ先端部への微粒子供給を阻害しないような容器設計が課題



実用化の見通し

本研究では、堆積材料の拡張性やローコストプロセス等に期待の高いディップコート法を用いてガスセンサを作製している。したがって、検出する対象ガスに合わせて材料を容易に変更する点や、複数ウエハの同時一括処理を実現できる可能性がある為、CR周辺のドラフト溶媒検出用途のみならず幅広い用途に適用できる可能性があり、同時に高い生産性も期待される。しかしながら、ウエハレベルのプロセスには、課題点もあり現状センサをヒーター一括型のMEMSガスセンサへ適用すると数年は要すると考えられる。

位置づけ・目標

＜オムロン＞

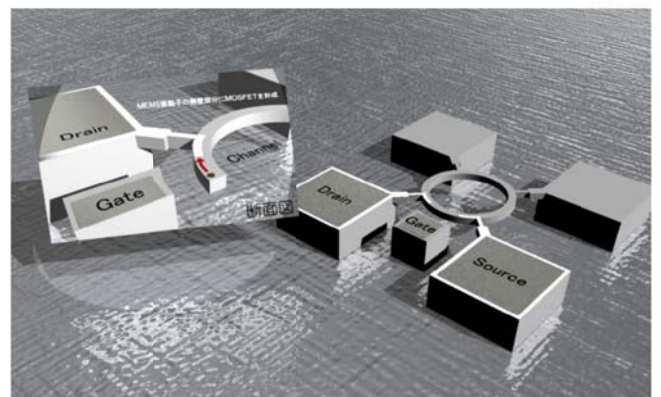
中性粒子ビームをデバイスに適用することで、高効率な容量型センサや高効率高周波デバイス、そしてさらなる小型化・低消費電力化が期待される。本研究ではデバイスの試作を通じて課題検証する。

主な成果とその意義

成果まとめ:

1) 世界で初めてMEMS等価回路設計技術を用いた独自の設計ツールを構築し、MEMSとトランジスタのいいとこ取り設計を実施。寸法や構造について指針を示した。

2) デバイスの試作を通じて、プロセス課題を明確にできた。



実用化の見通し

本デバイスは、MEMSとトランジスタの集積による特徴的な特性を活かし、SAWやFBARなどの高周波デバイスにかわるチューナブルバンドパスフィルタの実現や加速度センサやジャイロセンサなどにも応用し周辺部品点数削減・低消費電力化などが期待できる。特にチューナブルバンドパスフィルタは、マルチバンド化した携帯電話・スマートフォンなどの携帯端末市場においてニーズが高く、数百億円規模の市場であるため、事業化するメリットは非常に大きいと考えられる。また、加速度センサやジャイロセンサなどにおいてもセンサネットワークの省電力化ニーズが高いことから同様に期待できる。

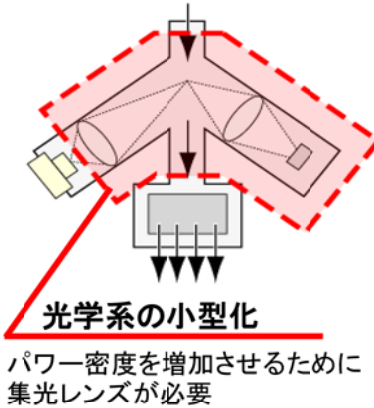
位置づけ・目標

CR内センサネットのキーデバイスであるパーティクルセンサ小型化へ向けて検出方法の検討・原理確認を行う

主な成果とその意義

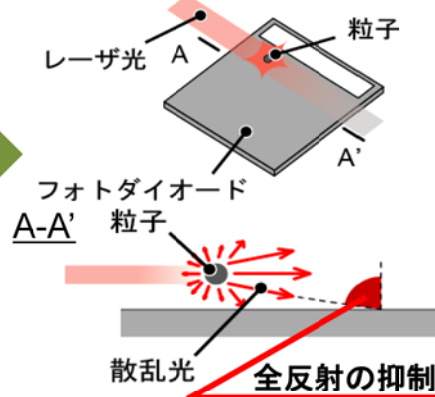
特許:3件 学会発表:国内学会1件, 国際学会1件

従来のセンサ

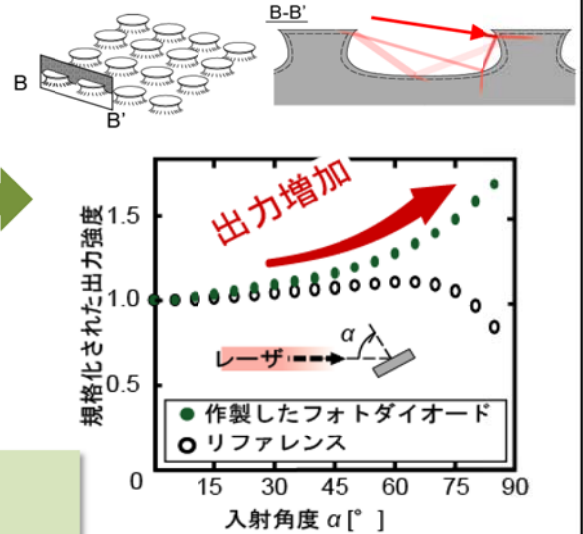


センサ構造の提案

ミー散乱の前方散乱の利用



要素技術の原理確認



光学系小型化の要素技術開発に成功
⇒ パーティクルセンサ小型化の可能性を示した

実用化の見通し

現在; レンズなし構成の可能性を見出せた

今後; 本構成案実現のため、課題検討を実施し
小型、低消費電力パーティクルセンサを目指す

SIIで持っている **センサネットへの適用** なども含め実用化を目指す

目標: 小型化の課題であるパーティクルの検出方法を複数比較・検討し、その結果に基づき試作および検出原理の確認を行う。また、小型化に伴い、少量サンプルからのクリーン度を統計的に見積もる方法を検討する。

成果まとめ:

- (1) 検出方法の比較検討を行い、光学量計測方法の優位性を示した。
- (2) 小型パーティクルセンサの要素技術、特に、マイクロ構造を有するフォトダイオードの試作・評価を行った。
- (3) センサの計測可能なクリーン度をセンサの形状などから見積もる方法を提案した。

特許:3件 学会発表:国内学会1件, 国際学会1件

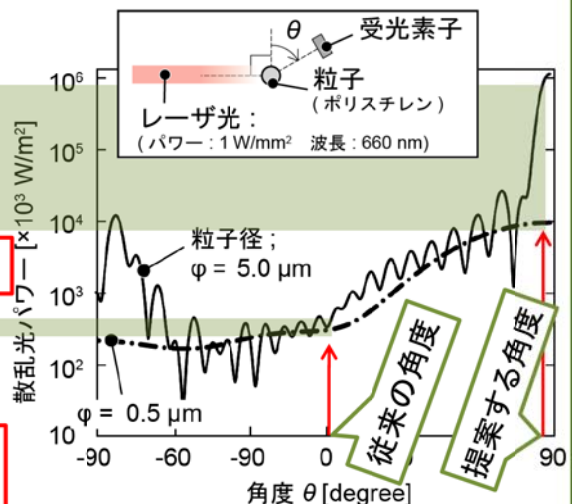
成果の具体的説明 (1)検出方法の比較検討

検出方法の比較

検出方法	感度	寿命	小型化
電気特性計測型	× (信号変化率が約 10^{-7})	△	○
質量計測型	○	× (18時間で感度約1/10)	○
光学量計測型	○	○	△ (光学系が大)

数字は典型的な粒子・センササイズを仮定して計算

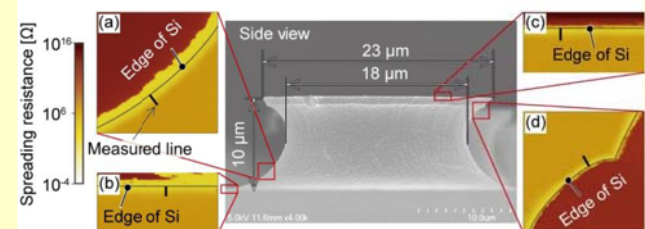
ミー散乱の空間強度分布をシミュレーション



90度付近の散乱光を検出する光学系に変えることで、従来の約100倍の散乱光を検出可能

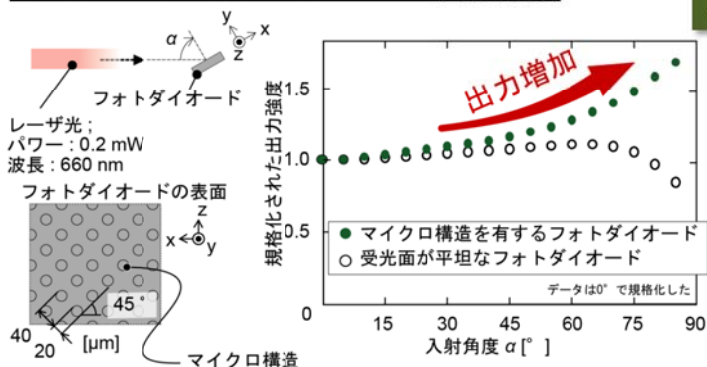
成果の具体的説明 (2)要素技術の試作・評価

① 作製したマイクロ構造

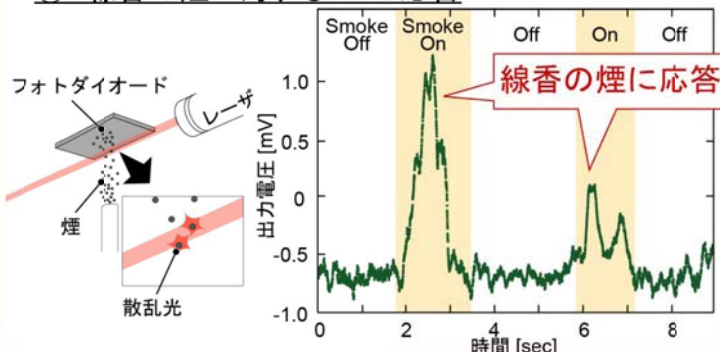


- ・ 逆テーパ構造作製プロセスを実現
- ・ マイクロ構造全体にドーパ層形成を確認

② 光の入射角度に対するPDの受光強度

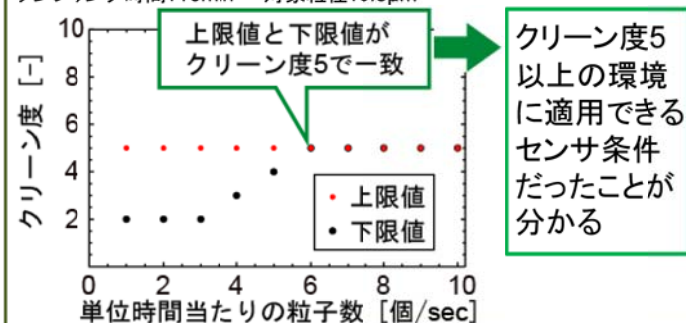


③ 線香の煙に対するPDの応答



成果の具体的説明 (3)センサ条件とクリーン度

センサ条件; 流路断面: 5 × 5mm² 流体速度: 0.3m/s センサ数: 1個
サンプリング時間: 10min 対象粒径: 0.5μm



位置づけ・目標

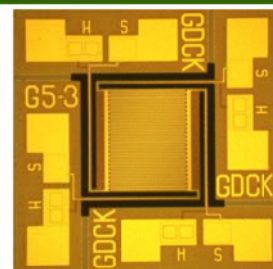
クリーンルーム内汚染ガス(酸・アルカリ系)をppbレベルで計測可能で省エネルギーなWO₃を用いたガスセンサの開発

主な成果とその意義

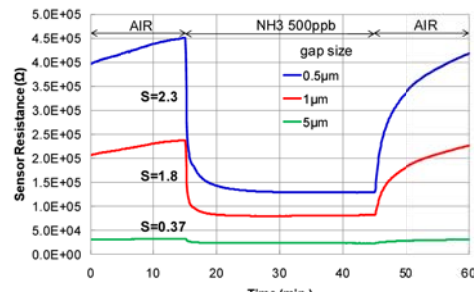
- MEMSセンサチップ最適化設計により、高感度・低消費電力ガスセンサを実現
 - ・ 検出限界NH₃=2ppb、H₂S=0.02ppbの高感度ガスセンサの実現
 - ・ 従来のMEMS構造に比べ、消費電力を1/15に低減
- スパッタ成膜によるWO₃薄膜センサの性能確認
 - ・ H₂Sはppbレベルで検知可能
 - ・ 従来のWO₃膜に比べ、最適動作温度が大幅に低く、更なる消費電力の低減に効果的
- ナノギャップ櫛歯電極による高感度化の効果確認
 - ・ 櫛歯電極のギャップサイズを5μmから0.5μmにすることで、感度が約6倍向上

実用化・事業化の見通し

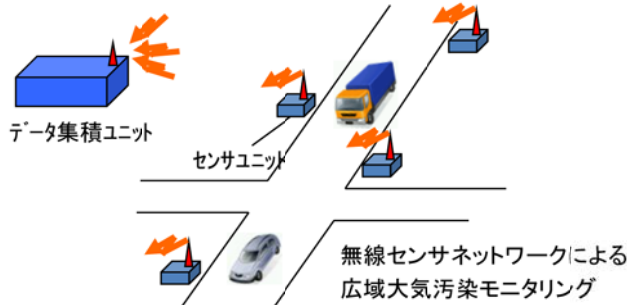
- 【高機能センサネットワークアプリケーション例】
- ・ クリーンルームの消費電力削減のためのドラフトの排気量制御
 - ・ 都市環境の広域大気汚染モニタリング
 - ・ 工場・オフィス等の室内の換気制御



試作したMEMSセンサチップ



ナノギャップ櫛歯電極センサのNH₃感度評価結果



位置づけ・目標

垂直エレクトレットの新しい高速荷電方法の開発を目指すとともに、小型化に有利な櫛歯型エレクトレット発電機の原理検証を行う。

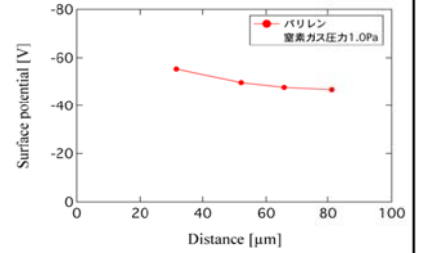
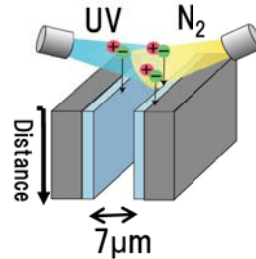
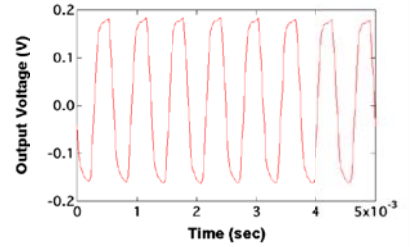
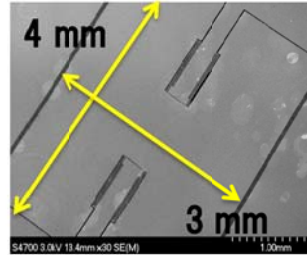
主な成果とその意義

<成果まとめ:>

- 1) 真空紫外線による電離を用いた荷電法を開発し、コロナ荷電、軟X線荷電よりも極めて高速に荷電できることを明らかにし、当初目標を達成した。
- 2) プロトタイプの発電実験により3nWの出力を得て、モデル計算との比較から原理確認した。

<意義>

真空紫外線を用いた高速荷電を用いることにより、実用的な荷電時間で櫛歯状の垂直エレクトレットへ形成することが可能になった。垂直エレクトレットを持つMEMS発電機が実現できたことにより、組立が不要となり、低コスト化、小型化が容易になった。



実用化の見通し

垂直エレクトレットを用いたMEMS発電機は、低コスト化が可能であり、産業技術としての適用可能性が拡大した。今後は、低共振周波数化、エレクトレット材料の改良などにより、発電機の発電性能を上げ、実用化へ向けて取り組んでいく。

位置づけ・目標

電池持続時間、センシング頻度もしくは連続センシング時間に制限のないセンサーネットワーク端末を実現するための基盤技術として、センサネットワーク端末をイベントの発生に応じて必要なときに動作させる起動スイッチについて検討する。

主な成果とその意義

1) 起動スイッチの低消費電力化の検討

起動スイッチとしてセンシングに電力を消費しないPZTを用いたフローセンサの開発を行い(図1)、ほぼ線形な出力特性を確認した(図2)。

2) 起動スイッチ向け無線検討

起動スイッチを用いた無線端末では、実用的な条件において、ボタン電池で電池寿命5年以上を実現できる可能性を示した(図3)。

3) 起動モジュールと無線部の要求仕様の策定

起動スイッチを用いた端末の無線部に対する要求仕様を策定した。

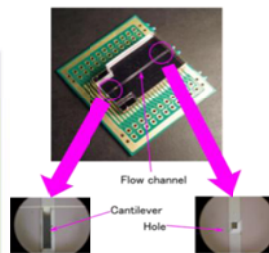


図1 起動スイッチ外観

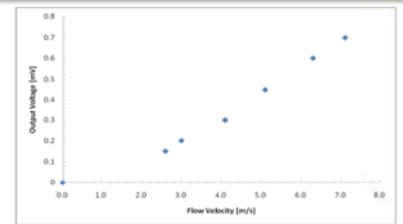


図2 フローセンサ出力特性

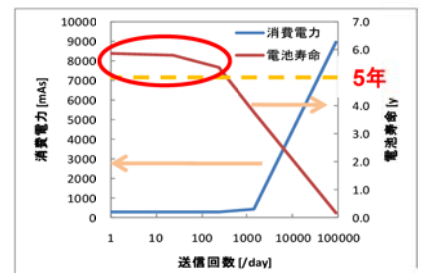


図3 送信回数に対する電池寿命の変化

実用化の見通し

本研究で開発した起動スイッチは、センサネットワーク端末はもちろん、センサ全般に適用可能な基盤技術であり、起動スイッチなしでは、電池寿命の問題からセンサーネットワークは実現は困難である。本開発で起動スイッチがセンサ端末の電池寿命向上、メンテナンス性に対して有効な画期的技術であることが示せた。そこで、まずは本技術の実用化、事業化に向け課題となる、起動スイッチとセンサのユニット化、システム化を検討し、早期実用化を目指す。

位置づけ・目標

<パナソニック電工>

人の存在や位置情報を正確に検出し照明、空調等を最適運転できる集積化自立センサネットワークモジュールを目指し、キーとなる温度センサや自立発電デバイスに向けた非鉛系強誘電体薄膜を開発する。

主な成果とその意義

非鉛系薄膜の作製

スパッタ法によりBaTiO₃の成膜基本条件を確立し、MgO基板上に高いc軸配向性を持つ膜を得た。

強誘電体特性

自発分極：10uC/cm²、抗電界：20kV/cm

焦電係数：20nC/(cm²・k) → Si上のPZT膜と同等性能

⇒ 温度センシング用薄膜としての可能性を見出した。

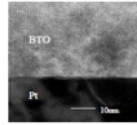


図1 BaTiO₃薄膜の透過電子顕微鏡写真

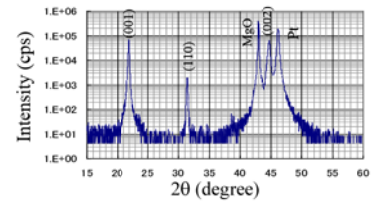


図2 BaTiO₃薄膜のX線回折図形

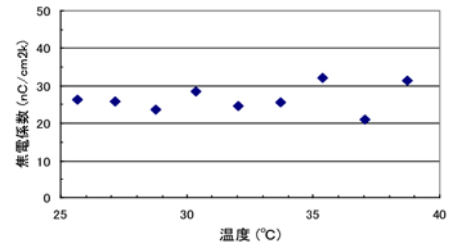


図3 BaTiO₃薄膜の焦電係数の温度依存性

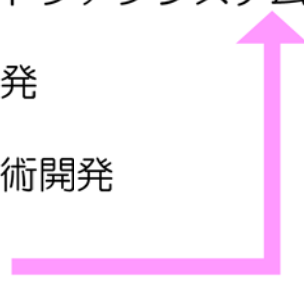
実用化の見通し

パナソニック電工においては既に、非鉛系材料を用いたバルク焦電体からなる人感センサを開発し、センサユニットおよびセンサ搭載照明器具を販売している。またMEMS技術を活用した圧力センサ、加速度センサも販売しており、MEMSデバイス製造販売に関しては豊富な実績を有している。今後、本プロジェクトで開発した技術をベースに、低環境負荷である非鉛強誘電体薄膜を応用し、省エネ化が可能でかつ快適空間創出につながる照明・空調制御を主としたセンサネットワークモジュールの開発を進めると同時に市場性を判断して、数年後をメドに実用化・事業化についての見通しを立てる。

V-306~317, IV-10, 11

低環境負荷型プロセスの開発

- ・ 低環境負荷ポリマー・センサ融合プロセス技術開発
- ・ スマートプロトタイピング・スマートファブシステム技術開発
- ・ 低環境負荷型深堀エッチング技術開発
- ・ 低環境負荷型集積化プロセス基盤技術開発
- ・ スマートファブシステム技術開発

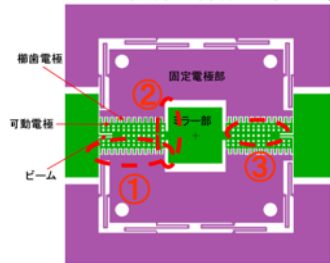


研究の概要:

アクチュエータMEMSデバイス(静電型ミラーデバイス)を2回に渡り製作し、アクチュエータ駆動電圧、ミラー部反射率、ミラー部表面粗さの特性を評価する。アクチュエータMEMSについては、性能予測が可能なシミュレーション技術及びナノインプリントによる製造プロセスを開発する。

技術内容:

1)ポリマー材料の特徴である大変位を活かす静電型ミラーの構造設計(図-1)



- ①可動電極部(可動歯)と固定電極部(固定歯)からなる垂直静電アクチュエータはミラー部の両側に対称に配置し、固定歯を押し下げて、可動歯と固定歯の間に段差がつくように設計した。
- ②振れ角度が大きい場合でもミラーの平面性がほぼ保持されよう、アクチュエータ部とミラー部の間にスリットを配置した。
- ③可動支持体に変位応力分散用に多数のダンパーを配置し、低消費電力駆動を可能にした。

・特許出願 1件(現在手続き中)

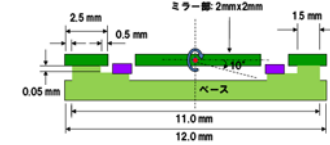


図-1 静電型ミラーデバイスの構造

2)製造プロセスの開発

成型装置、接合装置及び研磨装置の新設による4インチ試作ラインを構築し、静電型ミラーデバイスの基本製造プロセスを確立する(図-2)

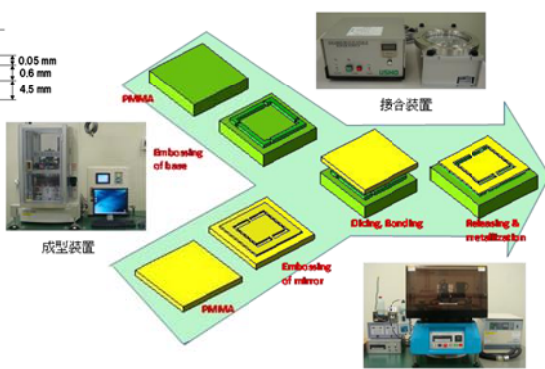
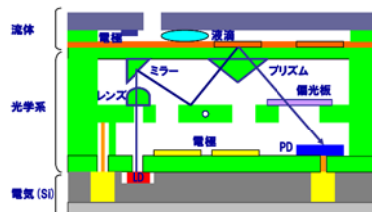


図-2 4インチ試作ライン

用途

ポリマー化の有用性

- ・高機能化(脱シリコン、材料特性より機械特性向上)
⇒シリコンに比べて同じ大きさで大きな角度
- ・低コスト化(ホットエンボス加工)
⇒シリコンプロセスと比べて約1/10の製造コスト
- ・生体適合性
- ・低廃棄時負荷、高リサイクル性



■ ポリマー化した部品
ポリマー化した高機能モジュール例

目標:

アクチュエータMEMS(静電型ミラーデバイス)を製作し、以下の項目に対し性能評価を行う。①駆動電圧:30V以下、②ミラー部反射率:90%以上、③ミラー部表面粗さ:100nm以下

成果まとめ:

- 1) 静電型ミラーデバイスの性能評価
 - ・駆動電圧、ミラー部反射率、ミラー部表面粗さは目標値をクリアした。
- 2) 製造プロセスの開発
 - ・静電型ミラーデバイスの基本製造プロセスを確立することができた。シリコンプロセスとの比較において、CO2排出量は98%大幅削減可能であることが試算できた。

成果の具体的説明

1) 静電型ミラーデバイスの性能評価

■ デバイス製作(試作回数3回)

今回開発した構造をインプリント技術にて製作し、従来にない特徴の静電型ミラーデバイスを実現した。(図-3)

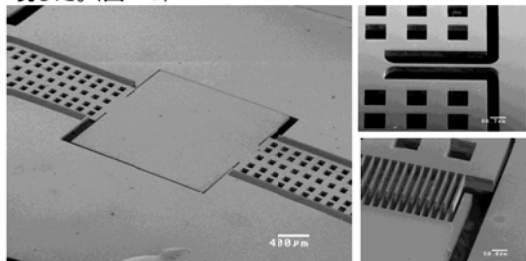


図-3 製作した静電型ミラーデバイスのSEM写真

① 駆動電圧評価

ミラー振れ角2.0度を駆動電圧30Vで得ることができた。計算結果とは概ね合致しており、同構造のシリコン静電型ミラーの約1/7~1/8程度である。(図-4)

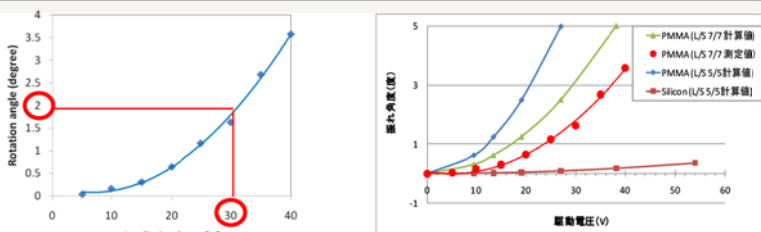


図-4 駆動電圧に対するミラー回転角度

② ミラー部反射率評価

静電ミラーデバイス全面に、反射膜としてAu200nmの成膜を実施し、ミラー部の反射率測定を行った。スカンナなどでよく使われる波長1000nm以上で90%以上の反射率が得られた。(図-5)

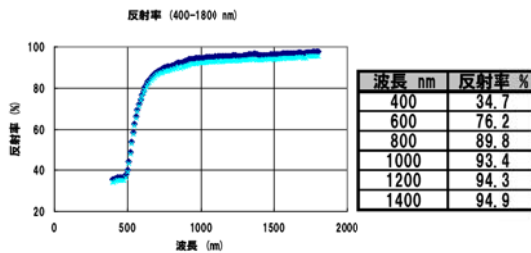


図-5 ミラー部の反射率測定結果

③ ミラー部表面粗さ評価

ポリマーミラーデバイスのプロセスでは、残膜を研磨することで構造体をリリースするが、レーザー顕微鏡による評価ではRa=30nmという良好な結果が得られた。

2) 製造プロセスの開発

構築した4インチ試作ラインを使って、静電型ミラーデバイスの基本製造プロセスを確立することができた(図-6)。成型に用いるNi電鍍金型については、無電解めっき法の適用により20 μ m L&S製作可能な目処が確認できた(図-7)。この製造プロセスは、主にプロセスで使用する温室効果ガスの削減により、シリコンプロセスとの比較において、CO2排出量を98%大幅削減可能であることが試算できた(表-1)。また、製造コスト1/10(静電型ミラーデバイス4インチウエハ3枚/ロット)の目処も得ることができた。

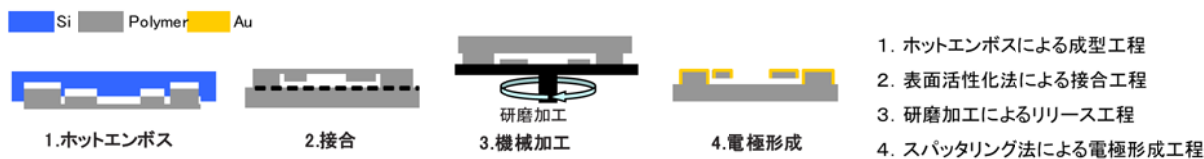


図-6 静電型ミラーデバイスの基本製造プロセス

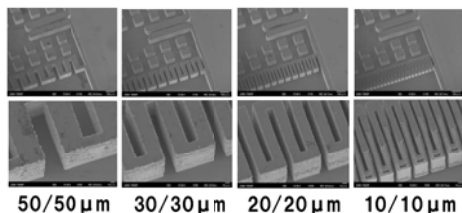


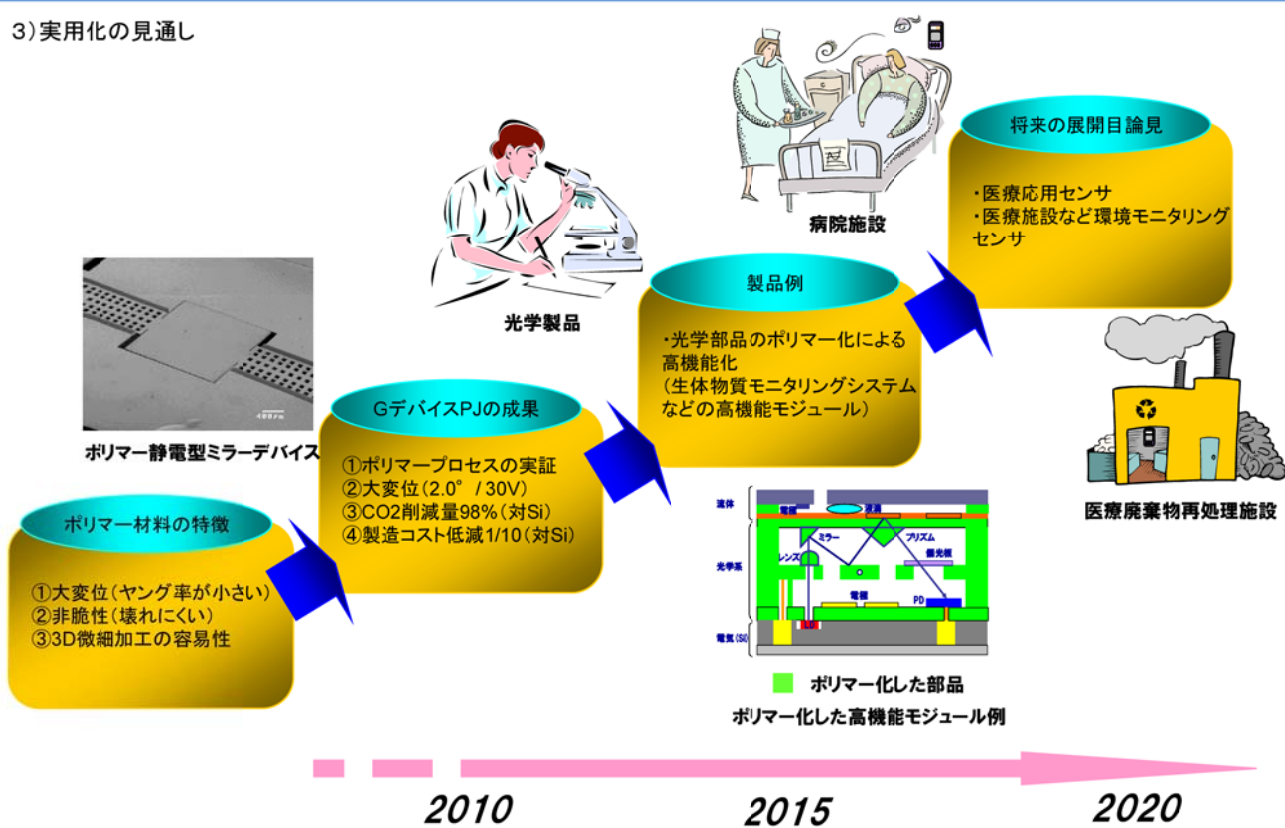
図-7 Ni電鍍金型のSEM写真

表-1 4インチウエハ1枚あたりのCO2排出量

	プロセス	温室効果ガス	合計	対Si削減率(全体)
		単位: CO2-kg		
シリコン	142.3	7,098.1	7,240.4	-
ポリマー(Si型)	121.0	354.9	475.9	93.4%
ポリマー(金型)	121.0	3.5	124.5	98.3%

※温室効果ガスについて現状は、排ガス処理装置にて対処
 ※ポリマー(Si型)の温室効果ガス排出量は、20ショット以上使用可能として算出
 ※ポリマー(金型)の温室効果ガス排出量は、Si型に対し100ショット以上使用可能として算出
 ※温室効果ガス排出量を除いた場合のCO2削減率は約15%

3) 実用化の見通し



<DNP, パナ電, 東芝, みずほ情報他>

■技術開発の目的:

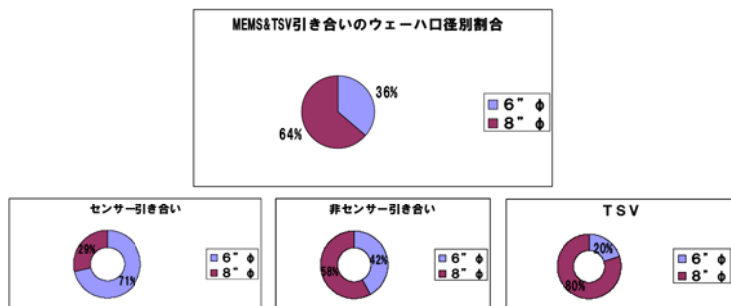
★MEMS大口徑(8インチ化)プロセスプラットフォーム構築による開発・試作から量産化フェーズへのスマートな(低コスト・短期間)移行の実現

★8インチMEMS製造プロセスの環境負荷量算出手法の開発と試作デバイスの実評価によるスマートな(デバイス製造の環境負荷を予測、ネットワークを通じた環境負荷見える化)ファブの構築

■最先端8インチ試作ライン構築の効果

★国内MEMSファンドリとの連携による開発プロセス共有化、ファンドリ少量試作ラインとして共有化

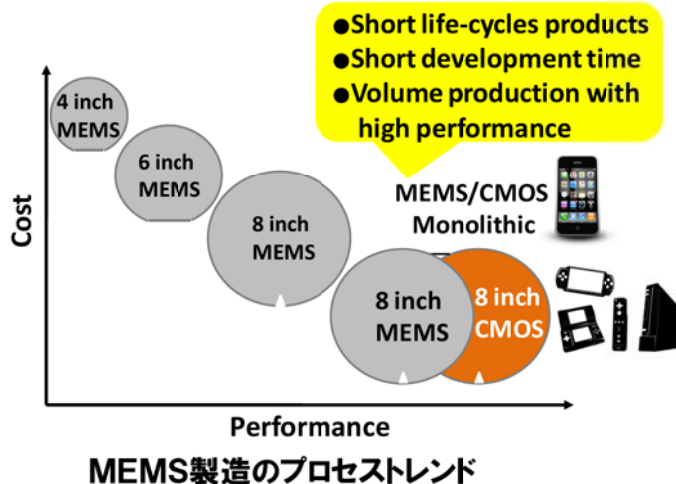
★MEMSのプロセストレンド(8インチ化 & CMOSモノリシックへの移行)の促進



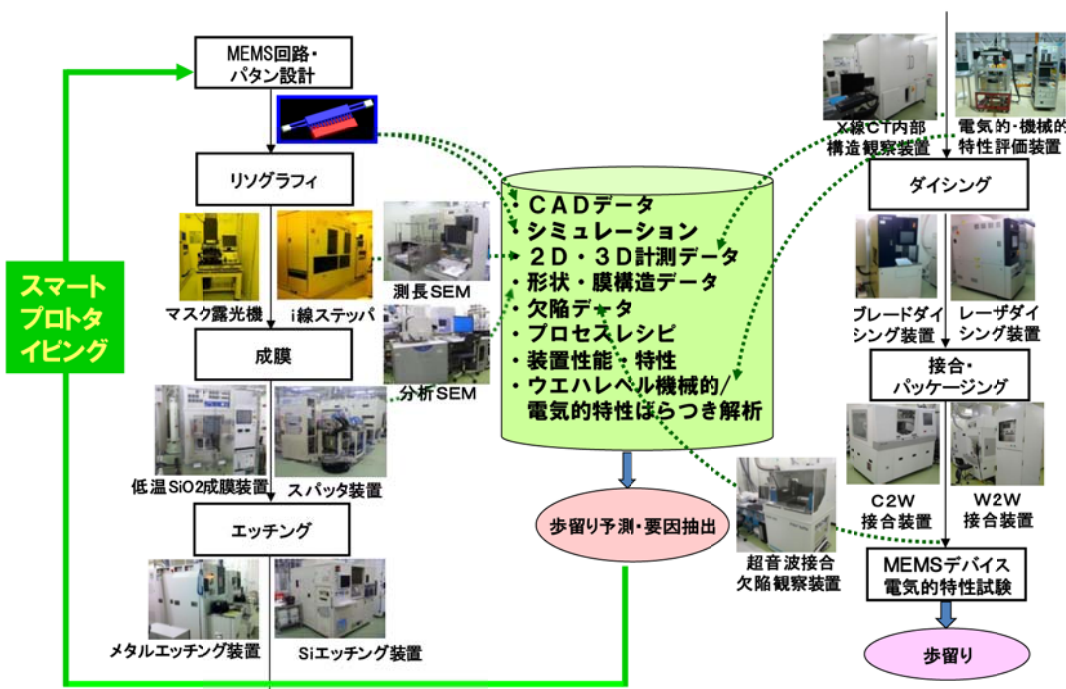
DNPへのMEMS&TSVファウンドリー引き合いは8"φが60%を超える。特にTSVは80%が8"φでの引き合い。12"φの引き合いも有。TSVは半導体プロセスとの親和性が必要であり、大口徑化が必須MEMSでも非センサーで8インチ化が進んでいる。

出典:マイクロマシン/MEMS展同時開催TIA-NMEMSシンポジウム Part I

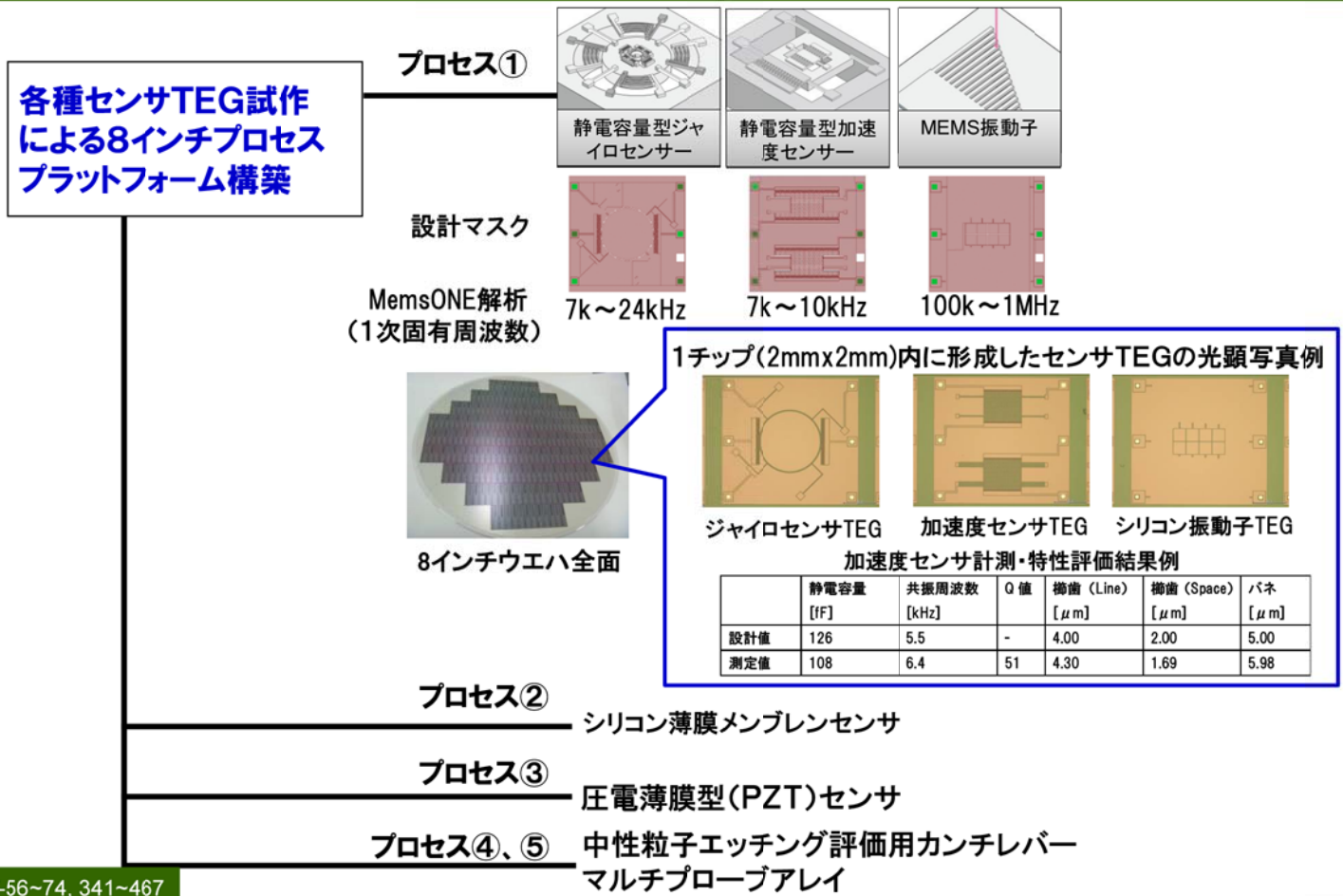
"大口徑MEMS生産の時代来る TIAのMEMS量産技術" 大日本印刷資料より抜粋



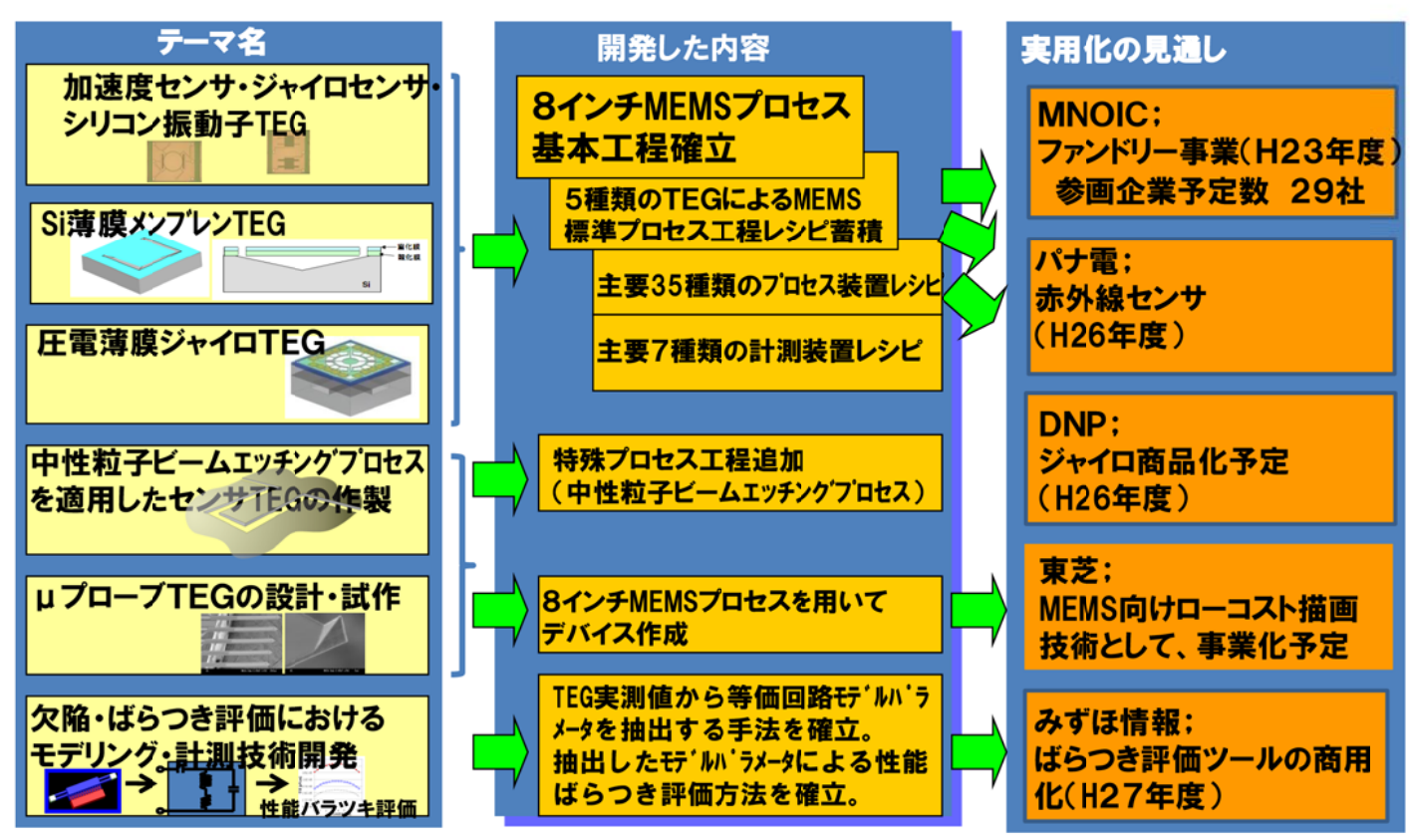
■研究開発の概要:8インチウエハプロセスにおける高品位プロセスの構築、プロセスレシピの構築、ウエハレベル計測・解析技術の開発、ばらつき要因評価方法の開発
→歩留まり・生産性向上によるMEMSラインの環境負荷低減



8インチラインにおけるプロセスフローとウエハレベル計測・解析評価に基づく歩留り向上の流れ

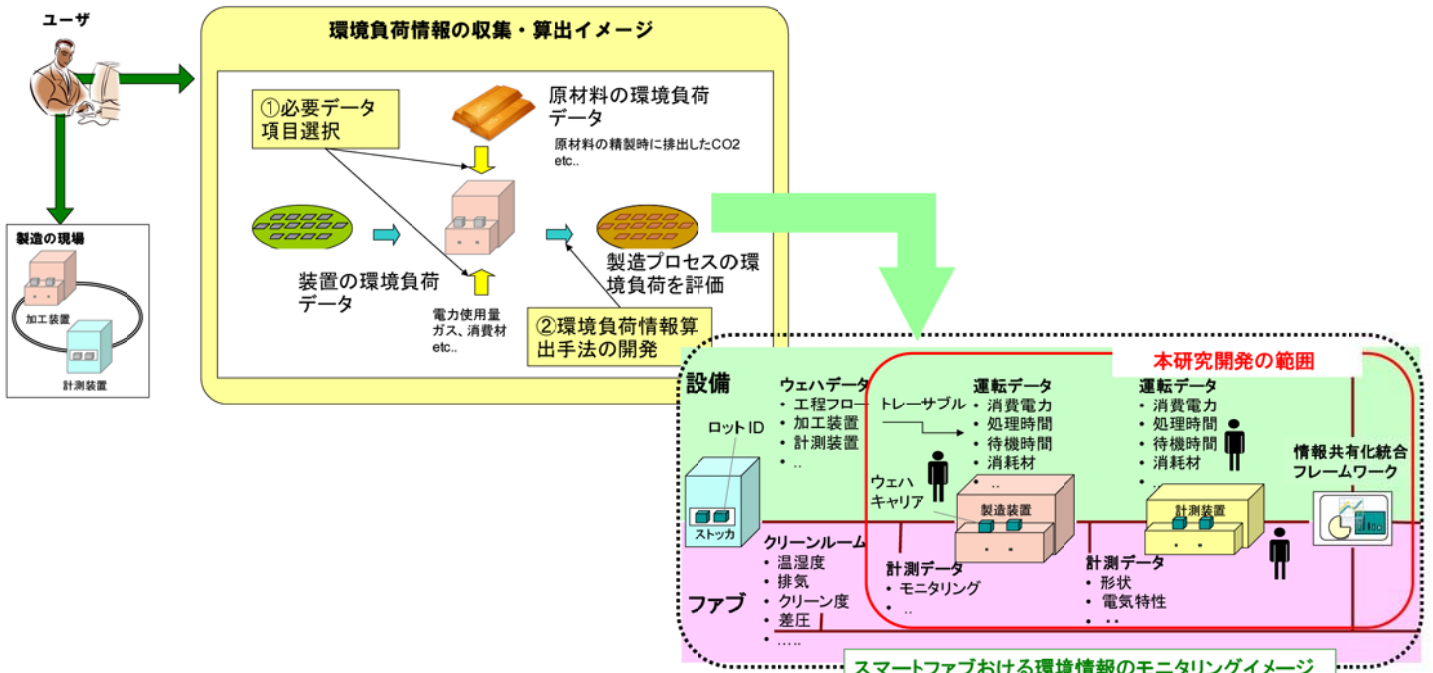


V-56~74, 341~467

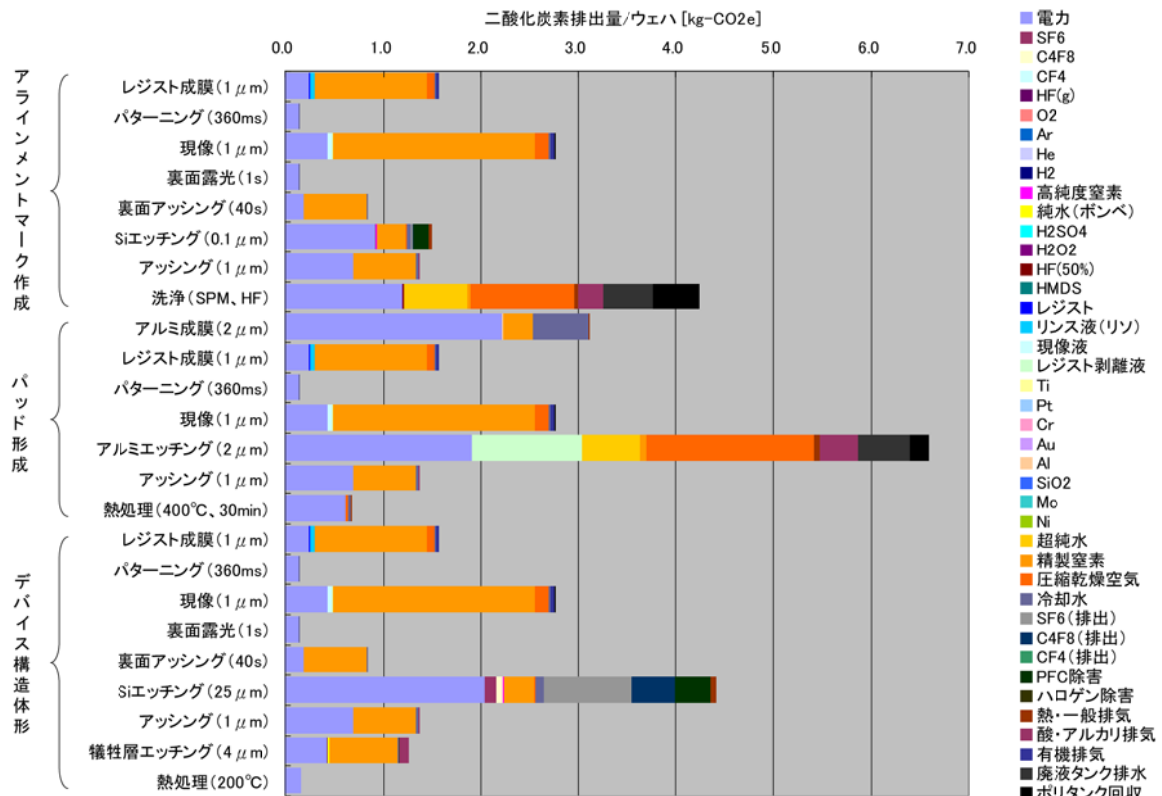


IV-4, 13-14

■研究開発の概要:8インチラインの各装置からの電力使用量、温室効果ガス排出量を収集・管理できるデータフォーマットの開発、MEMS製造プロセスのCO₂排出量算出手法の確立、およびTEGデバイス試作による算出方法の検証
 →プロセス設計最適化による環境負荷低減



MEMS製造のCO₂排出量算定イメージと8インチラインにおける環境モニタリングの範囲



センサTEG(ウエハ1枚あたり)の製造工程ごとの二酸化炭素排出量算出(41.6kg-CO2e)

成果の実用化

項目	①X線CT装置を用いた計測とシミュレーションによる3次元構造・特性解析	②MEMS製造プロセスの温室効果ガス排出量分析	③MEMS統合設計データベース
内容	<ul style="list-style-type: none"> ✓X線CT装置による3次元構造計測 ✓3次元構造に基づいた力学特性・構造解析 ✓機械・電気特性と構造との相関を分析 ✓MNOIC@TIAのX線CT装置を利用 	<ul style="list-style-type: none"> ✓プロセスの低環境負荷化に向けたCO2排出量の分析 ✓設計ツールでのCO2排出量算定・分析機能の提供 ✓生産管理システムでのCO2排出量の可視化 	<ul style="list-style-type: none"> ✓設計・計測、材料物性、環境負荷情報、CO2排出量原単位などのデータベース ✓MemsONEなどの設計ツール、生産管理システムからの利用
実用化形態・時期	<ul style="list-style-type: none"> ✓「3次元キャラクタリゼーション」としてサービス提供(2011/7/12プレスリリース済) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓MemsONEへの組み込みによる分析ツール提供(マイクロマシンセンターと共同で提供、2013年予定) ✓MNOIC@TIA装置(レシピ)へのCO2排出量ラベリング 	<ul style="list-style-type: none"> ✓MNOIC@TIAの装置に対応したデータベースシステムの提供(2013年予定) ✓MemsONEとの統合化(2015年)
波及効果	<ul style="list-style-type: none"> ✓売り上げ 9000万円/年間(2014年) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓製造プロセスのCO2排出量削減 9万t-CO2e/年間(2019年):MEMS全出荷数ベース、分析の結果25%削減されると仮定 	<ul style="list-style-type: none"> ✓設計時間の削減 6000時間/年間(1サイト・20デバイス開発相当)
課題	<ul style="list-style-type: none"> ✓計測の高精度・高分解能化 	<ul style="list-style-type: none"> ✓多様なデバイス・装置・工程への対応・ライフサイクル全体を通じた評価 ✓カーボンフットプリント等の標準化施策 	<ul style="list-style-type: none"> ✓商用データベースシステムの開発 ✓データデザインの拡張 ✓データコンテンツの拡充

IV-16,17

【研究の概要】

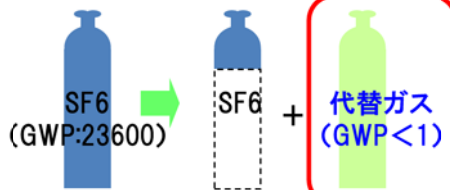
温暖化係数が1以下の代替ガス候補の選定、リアルタイムモニタリングによるエッチングの効率化、及びフィードバック制御手法を用いたエッチング最適化を行う。

【技術内容】

1. SF6の特長を維持可能な低環境負荷代替ガスの探索

SF6の特長:

- ・高エッチレート
- ・高い安全性
- ・安価



2. エッチング効率化/最適化

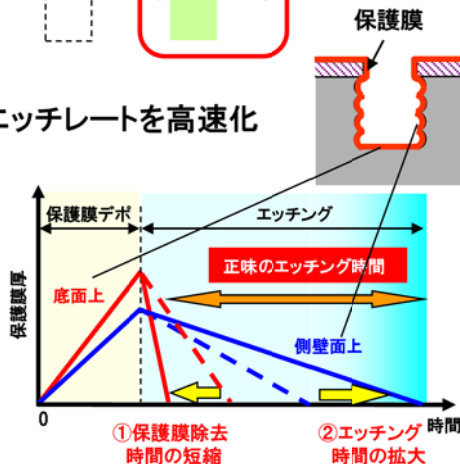
：形状を維持しつつ、更なるエッチレートを高速化

(着眼点)BOSCHプロセスの効率化

- ①底面の保護膜除去時間短縮
- ②エッチング時間の拡大



プラズマ発光のリアルタイムモニタリング



【用途】

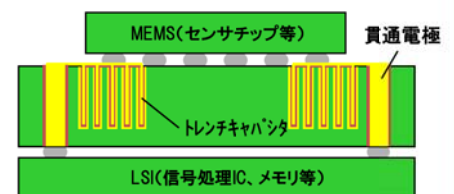
- ・MEMSとLSIとの三次元集積化
- ・蓄電デバイス

【ニーズ】

- ・TSV加工の高スループット化
- ・小型低コスト化

【適用デバイス】

- ・貫通電極、大容量トレンチキャパシタ形成の深堀エッチング



トレンチキャパシタ内蔵Siインターポーサ

V-504~576

【目標】

現状のSF6ガスに対し、温暖化ガス排出量を90%以上削減可能とする最適代替ガスの選定指針を得る。

【成果まとめ】

温暖化ガス排出量をトータル90%削減できる指針を得た。

<内訳>

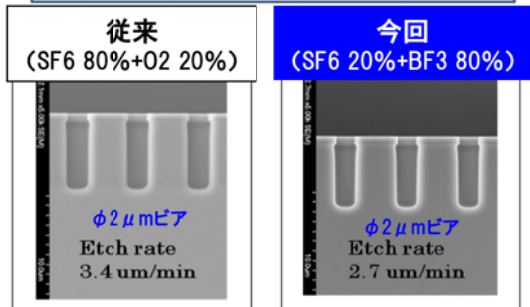
- ・SF6とBF3の混合ガスで、69%削減
- ・F、SiFのラジカル密度のモニタリングとプロセス条件へのフィードバックにより45%削減

【成果の具体的説明】

1. 低環境負荷代替ガスの探索

候補ガスSiF4、IF5、ClF3、F2、BF3の中から低GWP、エッチレート、安全性の観点でスクリーニングを行い、BF3を選定

Total gas flow = 200 sccm, Antenna Bias = 1000-100 W, Pressure = 6.65 Pa, Etch time = 2.5 min

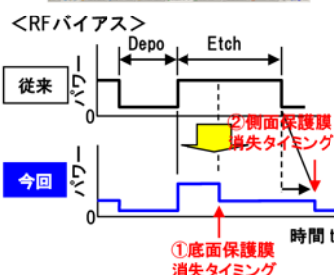
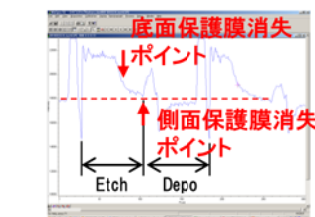


エッチング形状に問題ないことを確認

2. エッチング効率化/最適化

プラズマ発光(F; λ = 635.0nm)

保護膜消失ポイントをモニタリングし、プロセス条件へフィードバック



	従来条件 BOSCHプロセス	リアルタイム モニタリング
形状		
エッチレート	1.14 μm/min	2.06 μm/min
向上率	1.0	1.8

3. その他 特許出願:3件、学会発表:1件

従来条件に比べ、1.8倍のレート向上を達成

温暖化ガス削減率試算結果

プロセス	非BOSCH (連続プロセス)		BOSCH		トータル
	Ref.	代替ガス (実測)	Ref.	モニタリング/ フィードバック (実測)	
使用ガス	SF6+20%O2	SF6+80%BF3	SF6/C4F8 (エッチ/デポ)	SF6/C4F8 (エッチ/デポ)	(SF6+80%BF3)/BF3 (エッチガスをSF6+80%BF3、 デポガスを100%BF3と想定)
温暖化係数	19120 (23900×80%)	4780 (23900×20%)	23900/8700 (12.6/5sec)	23900/8700 (12.6/5sec)	(4780/0) (12.6/5sec)
温暖化係数比	1	0.25	1	1	(0.17) (BOSCH Ref.に対して)
エッチレート (μm/min)	3.4	2.75	1.14	2.06	(1.66) (2.06 μm/min×0.81)
エッチレート比	1	0.81	1	1.8	(1.46) (BOSCH Ref.に対して)
温暖化ガス 削減率*	—	69%	—	45%	90%

*温暖化ガス削減率=1- (温暖化係数比 / エッチレート比)

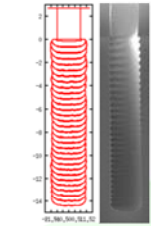
代替ガス+モニタリング/フィードバックで90%削減見込み

【実用化の見通し】

ユーザとしての本技術導入のうれしさ：
エッチング高速化(1.8倍)によるスループット向上(=低コスト)



アルバック：
MEMS深堀エッチング装置、
半導体エッチング装置への適用検討中



みずほ情報総研：
エッチング解析ソフトへの
プラグイン化を検討中



車載用高集積センサ
ECU用LSI

デンソー：
車載用高集積センサ、ECU用LSIへの
適用に向けてデバイスの技術成立性を検討中



プラズマ
モニタリング

エッチング
形状予測

パラメータ
フィードバック

将来はエッチング装置
への組み込みを想定

研究の概要

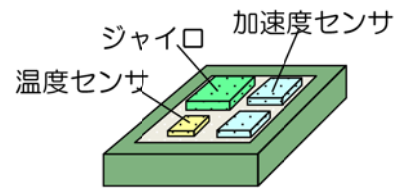
ウエハ・ツー・ウエハとチップ・ツー・ウエハ技術を組み合わせた、ウエハサイズ、チップサイズに制限されることのない、様々な異種デバイスのウエハレベル一括集積化技術を実現するための基盤技術として、250℃以下で大気圧付近から真空雰囲気まで封止できる接合プロセスについて検討する。

技術内容

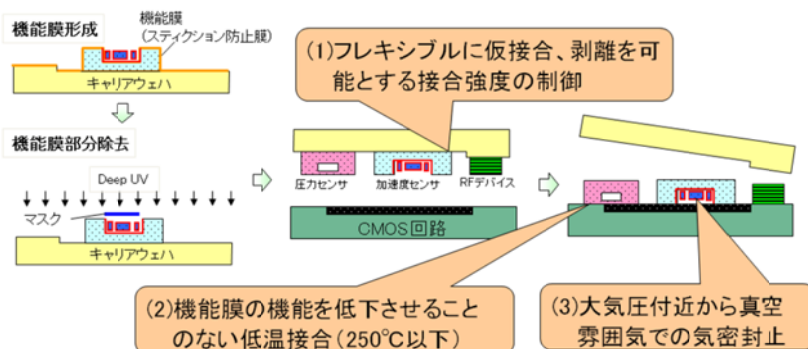
- (i) 接合強度制御技術と気密封止技術
一括集積化のためにキャリアウエハへの仮接合の接合強度を、正規の接合強度の1/10以下に安定して制御することを目指す。
- (ii) 機能膜の機能を低下させない低温接合技術
機能膜の特性が劣化しない、250℃以下の低温接合技術実現に向け、接合面に付着した機能膜の影響把握と、機能膜の部分的除去方法確立に向けた課題抽出を行なう

用途

チップ・ツー・ウエハ接合による集積化、歩留まり向上と接合の低温化による、小型、低コスト、低消費電力のセンサモジュール



車両制御用センサモジュール(例)



目標：

チップサイズに依存しない集積化技術を実現する基盤技術として、250℃以下で大気圧付近から真空雰囲気まで封止できる接合プロセスについて検討し、接合方式を決定する。

成果まとめ：

本研究開発の結果から、表面粗さや接合パターンを制御して接合することで、一括集積化技術を実現するための接合が可能であることが判った。本技術を発展させることで、ウエハサイズ、チップサイズに制限されることのない、様々な異種デバイスの集積化を実現することが可能となる。

成果の具体的説明

- 1) 表面粗さや接合パターンなどのパラメータを制御することで、一括集積化のためにキャリアウエハへの仮接合の接合強度を、正規の接合強度の1/10以下とするための指針を得た。
- 2) SAM膜はUV光、プラズマ照射で部分的除去可能であり、除去後の接合も可能であることが判った。

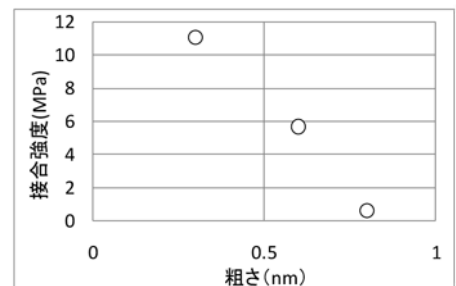


図1 表面粗さと接合強度の関係

<グリーン化に向けて>

初動研究として得た本技術を発展させることで、

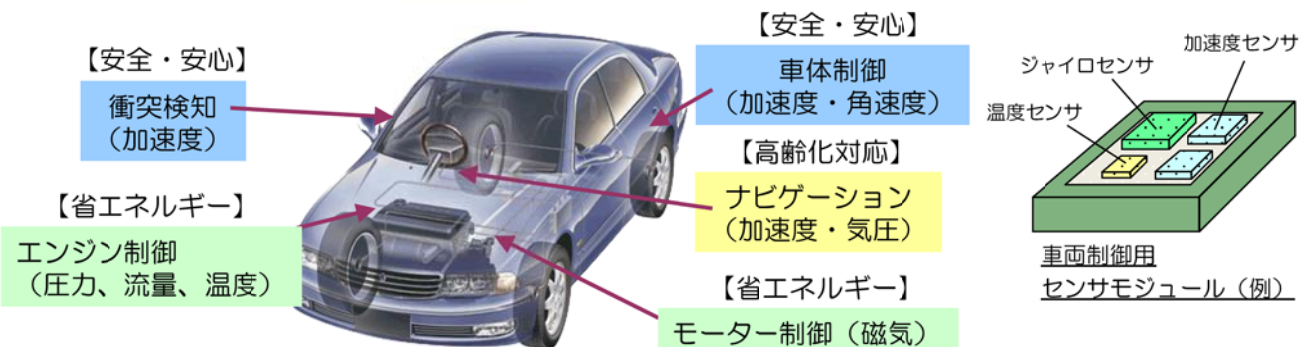
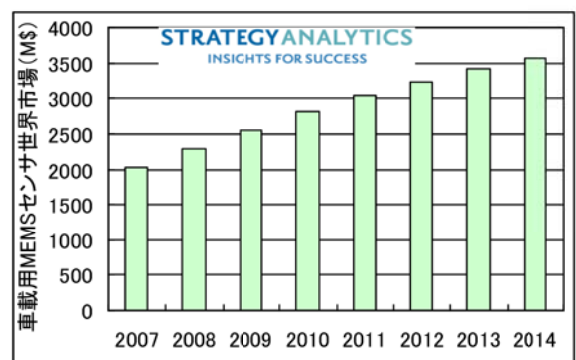
仮接合時の接着剤削除による廃液処理の低減と、歩留まり向上等による低消費電力化により、環境負荷を低減できる。

例えば、チップ取れ数が2倍になれば、20%程度電力は削減されるとされており、MEMS1兆円規模市場(国内2010年度)において、電力20%が削減されたとすると、 $500\text{万トン} \times 0.2 = 100\text{万トン}$ CO2削減 となる。

【実用化の見込み】

本研究開発の終了後、省エネ、安全・安心が要求される自動車分野に対して、高機能・高信頼性デバイスの実装技術として製品適用に向けた開発を実施する。

本成果（センサの集積化）により、多機能車載センサの小型化、低コスト化を実現



センサ高機能化による二輪・四輪車のエネルギー効率・安全性向上

今回得られた要素技術の知見をもとに、4年程度を目処に実用化の見通しを立てる。事業化については、その時点での市場動向や事業性を勘案して判断する。

番号	出願者	出願番号	出願日	名称	発明者	所属
1	みずほ情報総研	特願 2011-044058	2011/3/1	素子解析システム、素子解析方法及び素子解析プログラム	藤原信代 浅海和雄 橋口原	みずほ情報総 みずほ情報総
2	セイコーインスツル 産業技術総合研究所	特願 2011-054222	2011/3/11	パーティクルカウンタ	桑名健太 磯崎瑛宏 富松 大 新荻正隆 伊藤寿浩	BEANS研究所 BEANS研究所 BEANS研究所 セイコーインスツル 産業技術総合研究所
3	セイコーインスツル 産業技術総合研究所	特願 2011-054223	2011/3/11	粒子検出器	桑名健太 磯崎瑛宏 富松 大 新荻正隆 伊藤寿浩	BEANS研究所 BEANS研究所 BEANS研究所 セイコーインスツル 産業技術総合研究所
4	セイコーインスツル 産業技術総合研究所	特願 2011-054224	2011/3/11	マイクロ構造の製造方法、マイクロ構造体、受光素子及び粒子検出器	桑名健太 磯崎瑛宏 富松 大 新荻正隆 伊藤寿浩	BEANS研究所 BEANS研究所 BEANS研究所 セイコーインスツル 産業技術総合研究所
5	アルバック	特願 2011-95426	2011/4/21	ドライエッチング法及び装置	森川泰宏 村山貴英	アルバック

他三件出願手続き中

添付資料A-5

- 1) M. Honzumi et al., "High-Speed Electret Charging Method Using Vacuum UV Irradiation", Power MEMS 2010, pp173-176.
- 2) K. Yamashita et al., "Vibration-driven MEMS energy harvester with vertical electrets", Power MEMS 2010, pp165-168.
- 3) 植木 真治他、「ゲート・チャネル間電気機械相互作用を考慮した Vibrating-Body Field Effect Transistorのモデリング」日本機械学会第2回マイクロ・ナノ工学シンポジウム2011、くにびきメッセ(島根)
- 4) 阿波寄 実他、「金属酸化物微粒子の自己整列構造を用いたガスセンサ」、精密工学会2011年度春季大会学術講演会
- 5) 磯崎瑛宏他、「パーティクルセンサの小型化に関する研究」、精密工学会2011年度春季大会学術講演会(東洋大学)
- 6) 藤原信代他、「MEMS等価回路ジェネレータによる特性ばらつき解析」、平成23年電気学会全国大会
- 7) 石垣彰一、他、「X線CT装置計測を用いたMEMSリバースエンジニアリング 第1報 試作サンプルによる計測実験とデータ解析例」、精密工学会2011年度春季大会学術講演会
- 8) 谷村 他、「デバイス製造プロセス改善のためのMEMSリバースエンジニアリング」2011年日本非破壊検査協会春季講演大会
- 9) M. Honzumi et al., "High-speed electret charging using vacuum UV photoionization", Appl. Phys. Lett. 98, 052901 (2011)
- 10) T. Fujimori et al., "Low Power Analog to Digital Converter with Digital Calibration for Sensor Network", SYMPOSIUM on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS, Aix-en-Provence, France, 11-13 May 2011
- 11) M. Abasaki et al., "Large surface area 3D self assembled nano-porous structure for high sensitivity gas-sensing", Transducers'11 conference, June 5-9, 2011, Beijing, China.
- 12) A. Isozaki et al., "Photodiode with Micro Texture for Improving Sensitivity at Large Angle of Incidence for Particle Sensors", Transducers'11 conference, June 5-9, 2011, Beijing, China.
- 13) K. Yamashita et al., "Vibration-driven MEMS Energy Harvester with Vacuum UV-Charged Vertical Electrets", Transducers'11 conference, June 5-9, 2011, Beijing, China.
- 14) T. Matsushita, et al., "Piezoelectric energy harvesters of PZT films deposited on Ti cantilevers", PowerMEMS2011 (IEEE)
- 15) A. Shibuya, et al., "Development of a Miniaturized NO2 Gas Sensor Based on Nanoparticles WO3 Thin film on Interdigitated Electrodes", IEEE Sensors 2010

添付資料A-5

研究課題	目標	成果内容	達成度
半導体クリーンルームセンサネットシステム開発	クリーンルームでのCO2排出量削減を検討できる制御管理システムの開発を行う。 検証用クリーンルームでCO2削減(90年度比60%削減)を実証	・パーティクル量等の441点を計測評価できるエネルギーマネジメント統合管理システムを開発し産総研に設置。 ・塵埃負荷及び熱負荷時のパーティクル量、パーティクル拡散量、温度上昇等のデータから1990年度比、CO2 60%削減検証を実施。	○
8インチラインの構築	MEMS/LSIの前工程から後工程、評価までカバーする一貫ライン、デバイス表面及び内部の形状等の評価装置の導入	MEMS/LSI前工程プロセスラインとして、ウェハ洗浄、0.35μmリソグラフィ、ウェハ熱酸化・拡散、CVD・スパッタ成膜、ウェット及びドライエッチングライン(TKB812F)と、後工程プロセス・評価ラインとして、ウェハ接合・封止、ダイシング、実装配線、デバイス表面・内部性状・電気的特性評価ライン(TKB812B)を導入し、8インチMEMSプロセスの試作検証に適用した。	○
植物工場センサネットシステムの開発	センサネットを適用した省エネ評価用植物工場を構築し、センサネットの効果及びMEMSデバイスの実用化を検討	東京農大にセンサネット植物工場の開発環境を構築。リーフレタス、ミニトマトを栽培、細霧冷却、補光照明、冬季暖房、土壌灌水の4提案方式に関して、それぞれエネルギー20%の削減を達成。補光照明、冬季暖房、土壌灌水の3提案方式に関して、植物の収穫量10%改善を確認。MEMSデバイスの実用化可能性を検討した。	○

研究課題	目標	成果内容	達成度
高機能センサモジュール技術開発			
高機能センサモジュール	・無線センサモジュール(30mmx30mmx10mm)試作開発 ・アプリケーション分野の明確化と新たなセンサネットの活用検討	・センサ機能に温度、湿度、圧力、加速度を搭載、電池、信号処理回路、無線送信回路、アンテナを実装。植物工場も含め用途に応じたセンサ機能を差替え可能な30mmx30mmx10mm以下のプラットフォームモジュールを試作した。 ・半導体クリーンルーム应用到に特定し、事業化課題と進め方を明確化した	○
低消費電力LSI	センサモジュールの長寿命/バッテリー交換レス化を目標に、低消費電力アナログ回路要素技術開発を行う。複数センサ信号を増幅・デジタル化するアナログフロントエンドLSIを試作、課題を抽出	アナログフロントエンド回路を低電力化するために、低電圧(1.2V)、短時間動作回路要素技術を開発。平均消費電力4μW程度(従来比60%以上削減)で動作可能あり、目標であるセンサモジュールの長寿命化の要素技術開発に成功した。	○
新センサデバイス原理検討			
ナノ構造ガスセンサ	センサ小型化及び性能検証: トレンチにSnO2粒子をポーラス状に埋め込み、センサ部の面積を1/2以下の省スペース化とセンシング感度維持を両立 粒子配列プロセスの大幅面積化: プロセスの大幅面積化に伴う課題抽出を行う。	・センサ部の面積を1/2以下の省スペース化とセンシング感度維持を両立するために、トレンチ埋め込み型ガスセンサを評価、平坦基板と比較し高濃度ガス中での感度が向上した。 ・粒子配列プロセスの大幅面積化の課題抽出として、4inch Si基板へのディフコートを検討し、メニスカス先端部への微粒子供給を阻害しないような容器設計が必要こと、ウェハ表面を洗浄に保つ必要があることを見出した。	○
低消費電力センサ・無線モジュールへの検討	高効率な容量型センサや高効率高周波デバイス、そしてさらなる小型化・低消費電力化に向け、デバイスの試作を通じて課題検証	超低損傷ドライエッチング技術を低消費電力センサ・無線モジュールに適用した場合の課題検証を実施。シミュレーションでは、専用設計ツールを構築し計算結果からゲート長・幅などのデバイス構造の課題を抽出。8インチファウンドリ試作ではインプラ工程やCMP工程などのプロセス課題を抽出した。	○
パーティクルセンサのMEMS化	小型化、低コスト化が困難なパーティクルセンサのMEMS化を検討する	・検出方法として、光学的・電気的方法を複数検討、小型化のために新光學系を提案、パーティクル(線香の煙)を検出することができた。 ・センサの流路断面積5×5mm ² 、ダウンフロー流速を0.3m/s、対象粒径0.5μmとし、10個のセンサで1秒間サンプリングを行うとして、JIS規格のクリーン度を見積ることができた。	○

研究課題	目標	成果内容	達成度
汚染ガスセンサ	汚染ガス(NH3, H2S等)をppbレベルで計測するための酸化半導体のセンサ開発	低消費電力化された高感度MEMSガスセンサを開発した。 耐熱温度500℃以上で、NH3に対する検出限界を2ppb、消費電力を31mWに低減、H2Sに対する検出限界を0.02ppb、消費電力を48mWに低減を達成した。	○
振動発電を中心とした小型高効率発電デバイス	垂直エレクトレットの新しい高速発電方法の開発を目指すとともに、小型化に有利な櫛歯型エレクトレット発電器の原理検証を行う	真空紫外線による電離を用いた荷電法を開発し、コロナ荷電、軟X線荷電よりも極めて高速に荷電できることを明らかにし、当初目標を達成した。また、原理検証として、櫛歯状の垂直エレクトレットへの真空紫外線荷電の検証と1μWオーダーの発電が可能であることを示した。	○
センサ用パワーマネジメントデバイス	センサネットワーク端末の電力削減のため起動スイッチの原理検証と通信方式の検証する	ゾルゲルPZTと流路形状デバイスにより発電型の低消費電力起動スイッチの可能性を得た。起動スイッチ向け無線として起動スイッチを用いた場合の通信シーケンスチャート、データフォーマット、通信タイミングチャートを策定。消費電力推定の基礎データを取得。	○
位置推定センシング原理	作業者の位置推定の原理開発を行う。	ワイヤレス給電型慣性センサとRFIDを組合せた無線方式センサモジュールで作業者位置をリアルタイム計測し、RFIDタグ検出時の位置補正、サーバには作業者位置表示・タグ位置設定・履歴表示・シミュレーション機能を具備した作業者位置追跡システムを開発した。	○
高感度温度センシング用機能薄膜	環境に優しい非鉛系強誘電体材料におけるセンサとしてのデバイス原理開発	非鉛系強誘電体材料BaTiO ₃ 薄膜をスパッタ法で形成し、焦電係数は10~20pC/N、圧電定数は10pC/(cm ²)を達成し、センサとして十分な性能を得た。	○

研究課題	目標	成果内容	達成度
低環境負荷ボリマー・MEMS融合プロセス技術開発	・ボリマーデバイス向け電鍍成型金型基本プロセス確立 ・アクチュエータMEMSを2回製作、駆動電圧、ミラー部反射率、ミラー部表面粗さの特性を評価、生体適合性への課題抽出	PMMAボリマー材料による静電型ミラーデバイス(アクチュエータMEMS)を電鍍成型金型によるプロセスにて開発した。試作(2回)及び特性評価の結果、生体適合性に問題ないことを確認した。	○
スマートプロトタイプング技術開発			
シリコンベースセンサTEGの試作	・シリコンベースセンサTEGの試作に向けて、各プロセス(成膜・リソグラフィ・エッチング・洗浄)装置の要素技術を開発 8インチラインを用いて試作し、ラインの特性と製造環境を評価、MEMSデバイス製造基盤を構築	・8インチウエハによる酸化膜、SiN、i線露光、Si異方性エッチング、Si-DRIE、メタルドライエッチング、犠牲層ドライエッチング条件出し、応力解析、断面形状、寸法、ウエハ内均一性を評価。5種センサTEG試作とそのセンサ特性評価により、8インチ試作に適用できるプロセスプラットフォームを構築。8インチプロセス装置、計測装置のレンビ蓄積を行った。	○
中性粒子ビームエッチングのデバイス性能向上実証	中性粒子ビームエッチングの大口径(8インチ)化によるウエハ内の特性ばらつきをセンサTEGの試作により評価	8インチウエハ内面に作製したカンチレバーに中性粒子ビームエッチングを行ない、カンチレバーの共振周波数とQ値の初期特性を計測し、ウエハの表面状態が回復すること、100nmエッチング行ったところで特性のサチュレーションを確認、中性粒子ビームエッチング装置開発に重要な指針となるデータを取得できた。	○
μプローブTEGの設計・試作	先端部の有効径・幅がサブミクロンであるマルチプローブアレイを8インチウエハで試作し、ウエハ内、及びロット間の形状・特性のバラツキを、マルチプローブ評価装置を用いて評価する。さらに、8インチラインの検査デバイスとして適用できるかの可能性を検討	マルチプローブ評価装置を用いた評価手法として、局所陽極酸化(LAO)法による描画、光てこを用いた直接高さ測定、プローブ先端接触電流値のリアルタイム計測の3つの手法を提案し、電流値リアルタイム計測法が最も計測かつ容易にデバイスの特性ばらつき計測や不良スクリーニングできることを見出した。 上記計測法で8インチラインで試作したデバイスの、ロット間、ウエハ内形状ばらつきを評価、顕著な形状ばらつきはなかったが、ロット間電極配線形成プロセスの品質差を把握、本デバイスを用いた手法が、8インチライン検査デバイスとして適用し得る可能性を示した。	○
欠陥・ばらつき評価におけるモデリング・計測技術開発	ばらつき評価に有効なセンサTEGを設計・試作、最終パッケージ(真空中)やテスト(外力印加)段階と同様の擬似環境下でウエハ内の電気的・機械的特性計測技術及び解析結果を基に構造依存のばらつき特性近似モデリング技術を開発	8インチウエハに作製した複数デバイスについて、真空中・大気中で電気的・機械的計測を行い、それぞれのMEMS等価回路モデルパラメータを算出した。算出した等価回路モデルパラメータのばらつきより構造寸法のばらつき評価を行い、等価回路モデルパラメータのばらつきから構造寸法のばらつきが正しく評価できることを確認した。	○

研究課題	目標	成果内容	達成度
低環境負荷型深掘りエッチング技術開発	低環境負荷代替ガスの探索を3種類以上のガスについて行い、エッチング効率化/最適化と組合せ、SF6ガスに対し温暖化ガス排出量を90%以上削減可能とする最適代替ガスの選定指針を得る。	F2, BF3, SiF4など5種類の候補ガスについて、10Hz周期の高速リアルタイム・プラズマ発光モニタリングにより得られた高効率エッチングレシビとプロセスシミュレーションによるフィードバック制御の組合せにより、温暖化ガス排出量をSF6比で90%削減できる低環境負荷代替ガス選定指針を得た。	○
低環境負荷型集積化プロセス基盤技術開発	(1)ウエハ/チップ仮接合強度を、正規接合強度の1/10以下に安定制御する集積化プロセスを開発。 (2)可動部固着防止用機能膜が特性劣化しない250℃以下の低温接合技術実現に向け、接合面に付着した機能膜の影響を把握、機能膜部分的除去方法確立の課題を抽出	合面の表面粗さと面積の制御、環状くり抜きパターンの選定により、正規の接合強度の1/10以下に安定して制御できることが判った。 機能膜として、SAM膜(自己組織化単分子膜、FDTS膜)はUV光、プラズマ照射で除去可能であり、除去後の250℃表面活性化接合で十分な気密封止が得られること、パターンング方法としては、N2、あるいはArプラズマ照射が適していることが判った。	○
スマートファブシステム技術開発	(1)3次元設計・計測情報を、MEMS統合設計データベース、MemsONE等の設計ツール等と連携して活用するための情報共有化フレームワークの要求仕様を作成 (2)環境負荷データを情報共有化するためのデータベースの基盤を構築し、センサTEGの製造時における環境負荷を算出するのに必要なデータを収集・登録	(1)X線CT装置により3次元構造を設計・得られた構造から設計時の形状や力学特性を比較した。機械・電気特性の計測データと設計形状を、集中質点系モデルを介在させて比較する手法を検討した。併せて、情報共有データベースシステムの設計・プロトタイプ開発を行い情報共有化フレームワークの要求仕様を纏めた。 (2)30種類のMEMSデバイス用原材料と8インチライン(TKB812)で試作されたセンサTEG構造体の製造工程でのCO2排出に寄与する項目をデータ収集し、それらを積算して排出量を算定した。算定の結果により、装置・工程・項目に対する排出量の削減への指針を得た。	○