

マイクロシステム融合研究開発拠点

実施予定期間：平成 19 年度～平成 28 年度
総括責任者：里見 進（東北大学 総長）
協働機関：(株)リコー、(株)トッパン・テクニカル・デザインセンター、(株)メムス・コア、(株)北川鉄工所、住友精密工業(株)、トヨタ自動車(株)、日本信号(株)、日本電産コパル電子(株)、日本電波工業(株)、メムザス(株)、豊田中央研究所(株)、ニッコー(株)、日本航空電子工業(株)、古河電気工(株)、(株)デンソー、(株)クレストック

概要

20 世紀後半の LSI 技術の驚異的發展によって、以前には想像できなかった情報化社会が訪れている。今後、LSI が支える情報通信技術のさらなる発展と徹底的普及とによって知的生産性が向上し、そのインパクトは、産業革命が物質的生産性に与えたのと並ぶものになると考えられる。また、生活の視点からは、高齢化が進み環境問題への対応が求められ、あらゆる空間で、安全・安心・健康を実現できる社会システムが求められる。また世界的潮流として、IMEC やオルバニーなどの例に見るように欧米では複数の企業が結集して拠点を作り、知を結集させて「特異な技術」を克服し強い国際競争力を生み出そうとの動きが加速している。

我が国の将来を考えると、情報通信技術の発展・普及と社会システムの改革とを両輪として、知的生産性向上と働き方の多様化とを同時に進め、強い国際的産業競争力に裏打ちされた社会を持続的かつ健全に発展させる戦略が重要である。そのため、情報技術の基盤である LSI 技術をさらに発展させていく必要があるが、一方で、LSI 開発は従来のように単独企業で取り組める規模を超えており、開発スピードや投資などの問題もあって日本企業の撤退が進んでいる。

このような状況で、最先端 LSI 技術と MEMS (micro electro mechanical systems) 技術とを融合し、限界が近付いている LSI の微細化追及からのパラダイムシフトを起こし、安全・安心・健康を実現できる社会システムを支える高度なマイクロシステムを、欧米に負けないスピードと資本、総合的な研究開発力で実現していく必要がある。そのためには、複数の企業や大学の知の結集を可能とする「場」とそれを支える知財や人材、研究開発から産業化へのしくみといったシステム改革の視点も同時に構築せねばならない。

1. 機関の現状

本学には半導体研究の輝かしい歴史と蓄積とがある。その半導体微細加工に多様な技術を組み合わせ高付加価値のシステムデバイスを作る MEMS 技術に関する研究開発を 35 年程前から精力的に推進してきた。共用施設を学内外の約 400 名の研究者で利用して大きな研究成果をあげており、本分野で世界的にトップレベルにあることは内外の広く認めるところである。開発した技術を世の中に発信するだけでなく、大学の共用施設を活用し企業との共同研究や技術移転を積極的に行い、産業支援や製品化に貢献してきた。日本経済産業新聞の調査では、研究総括の江刺正喜教授が率いる研究室が「我が国で最も産業界に貢献している」との評価を得ている。この他、仙台市、宮城県、および東北大学

を中心にして「MEMS パークコンソーシアム」を 2004 年に設立し、これに 100 社以上が参加して、MEMS を中心とする産業振興や人材育成を行っている。

2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

a. 概要

このような土壌の上に、大学の知が触媒となって様々な企業、研究者が開かれた研究開発システムのもと結集し、集積化マイクロシステムを中核に、機械、電気・電子、材料、化学、電気化学、バイオ工学、医学などの様々な技術を融合させて我が国の次世代産業の種を創る知的活力源となる研究開発拠点を形成する。そうすることで、様々な機能を担うマイクロシステムが、情報処理・記憶機能を担う LSI と融合し、安全・安心・健康を支える社会的イノベーションをもたらす。システム改革の視点からは、次世代産業の種を早期にイノベーションに繋げるため、多領域にわたる企業や研究機関が、産学・産産学連携を行って総合的な知の結集で、研究段階から事業へと結びつけることができる開かれた「場」を構築する。そのためには、参加企業が安心して連携できる研究開発のシステムや新規な知財ルールの構築、人材育成にも取り組んでいく。そうすることで、研究から事業化への間に横たわる障害を克服しスピードを持って事業化への道筋を提供できる「場」とすることができ、強い産業競争力を生み出せる。

b. LSI 技術とマイクロシステム技術との融合

ムーアの法則に沿った LSI の発展、すなわち微細化の追求には明らかに物理的経済的限界が見えつつある。そこからのパラダイムシフトの有望な方法が LSI 技術とその他の技術との融合 (More than Moore) であり、その中でも最もイノベーションが期待されるものが MEMS を中心とするマイクロシステム技術との融合である。これは長期的ビジョンを持って進むべきマイクロシステム分野のメインストリームである。

LSI とマイクロシステムとをチップ内で集積化する方法として、次の 3 つの方法がある：1) LSI 形成後 LSI に損傷を与えない低温工程で LSI 上にマイクロシステムを形成 (LSI first)、2) シリコンウエハ内部に LSI 製造の高温工程に耐えられるマイクロシステムを形成した後、その表面に LSI を形成 (MEMS first)、3) LSI とマイクロシステムとを別々のウエハ上に形成し、ウエハレベルで両者を結合 (Wafer-level integration)。最先端デザインルールの LSI と最先端 MEMS の双方に損傷を与えないで最高のパフォーマンスを実現するには、装置開発やプロセス設計、低温接合、実装、マイクロシステムと LSI の統合設計など多くの基盤技術の研究開発が必要である。これらの技術が基盤となり、様々な LSI 集積化マイクロシステムが実現されていく。東北大学では、最初の 3 年間でこれらの技術のための装置・設備を整備し、デバイスの研究開発と並行して基盤技術を構築する。

c. 分野融合のための開かれた研究開発の「場」形成

我が国では、高価な装置が研究室毎に設置されるので、全体の研究開発投資という意味でも無駄がある。また、自らの研究室内の装置だけでできる研究が行いがちであり、総合的で実質的な研究開発は行えない。東北大学には施設・装置共用の実績があり、これを基

に自立的運営体制を可能にするスキームを構築する。ここで共通性の高い基盤技術の研究開発を継続して行い、それを求心力に多くの応用展開企業が産学、産産学連携のもと次世代産業創出の場を作る。

実際の研究開発方式として「乗合ウェハシステム」を採用する。マスクセットだけで数千万円以上する最先端 LSI を 1 つの研究プロジェクトで試作することは難しく、融合化マイクロシステムの実証は実質的に不可能となっている。したがって、複数の研究プロジェクトが同じウェハに相乗りすることで、産業化へのリスク低減が図れ、試作も受け入れられ、研究から産業化までに存在する「死の谷」等の克服を早期に図ることができる。同時に、拠点で生まれた基盤技術が参加企業間で利用できる仕組みや、乗合ウェハシステムで同居した企業間での秘密保持などの法的な保護もはかれる知財や秘密保持の仕組みも構築していく。

3. 拠点化構想の内容

a. 運営システム改革の内容

東北大学は、総長のリーダーシップの下、部局をまたぐ分野融合型研究活動を支援する「特定領域研究推進支援センター」を 2006 年 4 月に設立し、専属の事務局を立ち上げ、予算管理・執行、人事管理、対外活動などの総合支援体制を整備してきた。

産学連携に関わる知的財産の取り扱いについても新しい制度を協働機関、本学教員、本学知的財産部の参画を得て作成している。生み出された基盤技術の知財については協働機関の利用を担保する「パテントバスケット方式」で運用する。企業との共同発明に対しても本方式は適用され、知財面から開かれた「場」を担保する。また、これにともなう法的な取り決めによって、「場」における産産間の共同研究開発を保護する。

また、MEMS-LSI 融合のための企業からの研究者の採用、協働機関と共同での MEMS 設計実習や教育プログラムの作成や実施など、多様な人材の育成と活用を図る。また、MEMS 分野についての外部に対する定期的集中講義の実施、協働機関から大学への派遣研究者の on-job トレーニングなどによる人材育成を図っていく。

b. 企業との協働体制

マイクロシステム技術と LSI 技術を中核に、様々な技術を融合し、技術社会システム分野とも連携しながら、次の 5 つのグループで研究開発を実施する。また各グループと協働機関は毎月融合推進研究会に参加して情報と研究開発成果を共有し、研究の方向性を議論して技術融合を促進する。更に、協働機関は運営会議、スタッフ会議で拠点運営に参加する。拠点内人材育成にも従事する。

1) 次世代携帯機器

協働機関：(株) トップラン・テクニカル・デザインセンター、日本電波工業 (株)、

2) 無線センサ、超高感度・高機能センサ (桑野、小野、田中、長澤、三浦)

協働機関：住友精密工業 (株)、日本電産コパル電子 (株)、(株) 北川鉄工所、トヨタ自動車 (株)、(株) 豊田中央研究所

3) 光マイクロシステム

協働機関：(株) リコー、日本信号 (株)、古河電気工業 (株)、(株) デンソー

4) バイオ・医療マイクロシステム協働機関：メムザス (株)、日本航空電子工業 (株)、(株) トップラン・テクニカル・デザインセンター

5) 製造・検査装置

協働機関：(株) クレステック、(株) メムス・コア、ニッコー (株)

4. 具体的な達成目標

a. 3 年目における具体的な目標

3 年目までに、マイクロシステムと LSI とを一体化した新しい集積化マイクロシステムを実現するための基盤技術を立ち上げる。

ウェハ上で両者を集積化するため、低温形成技術、応力制御技術、複数の要素の貼り合わせ技術、立体的な配線形成技術などを開発する。また、LSI 上に様々なマイクロシステムを作る乗合ウェハ方式を試みる。様々な応用に向け、具体的なマイクロシステムの研究開発を行い、フィジビリティスタディを完了する。本拠点に最適な研究開発システム構築のため、海外拠点の研究開発システムを調査・研究する。

(1) LSI とマイクロシステム機能一体化 (融合) の技術確立のため、デザインルール 0.35 ミクロン以下の LSI を対象とし、LSI First、MEMS First、Wafer-Level Integration のための各技術の研究を実施し、実用化に向け研究課題を明確化する。LSI ウェハと、MEMS 工程用 SOI ウェハの貼り付けからなる一連のプロセスは、最重要基盤技術としてプロセスの原型を確立する。

(2) 複数のマイクロシステム機能を融合するため、要素となる個別分野デバイスの研究を実施する。MEMS 機能デバイスと一体化すべき LSI を乗合ウェハ上に試作評価し、システム実現の方法としての妥当性を検証する。これにより実用化に向け研究課題の明確化を図る。

(3) 拠点を担う人材を育成するため、拠点に参加する研究者、学生に対する導入教育プログラム、専門教育プログラムを構築する。また、一般社会人向けの実践的育成プログラムを実施し、不足しているマイクロシステム分野の研究開発者を育成する。

b. 7 年目における具体的な目標

最先端デザインルールの LSI とマイクロシステムを一体化するプロセス、装置、実装の各技術の研究開発課題を解決し融合化の基盤技術を確立する。開かれた研究開発拠点としての共用施設を整備し研究開発システムを構築する。また、継続的に行っている各分野のマイクロシステム研究開発と並行して、これらに幅広く適用できる LSI を開発する。さらに、具体的にいくつかの融合化マイクロシステムの機能を確認し実用化の見通しを得る。また、拠点を支えるスタッフの育成や産業界の状況を理解し共同研究を的確にマネージメントできる人材を育成する。

c. 実施期間終了後における具体的な目標

開かれた研究開発拠点として、様々な企業、研究機関、行政機関と連携して継続的に新たな技術開発を先導し、将来応用のためのマイクロシステムの研究・開発を通じて、関連産業の国際競争力向上に寄与する。

終了時には、開発した融合化の技術が様々な分野で市場競争力のある製品の実用化に供され、それらをもとにしたシステム化により、知的生産性を向上させるための創造空間や、将来の人・車・社会を考えた安全で快適な移動空間など、社会の安心、安全、健康等を実現する新規産業形成を担う。これらは、「パテントバスケット」の知財群および「乗り合いウェハシステム」に基づく開かれた研究開発システムからなる本拠点により支えられる。また、専門的知識を有すると共に拠

点を理解する人材を育成し、本拠点がマイクロシステム産業のイノベーションを支える人材の供給源となる。

5. 実施期間終了後の取組

複数の企業や研究機関が共同で研究開発できる施設面、知財面、また研究開発システムである「乗合ウェハシステム」などに裏打ちされた「場」としての開かれた研究開発拠点で、産産学連携を、大学の知を触媒として継続して実施していく。そうすることで世界的に競争力のある融合化マイクロシステムとその応用製品の研究開発が、設計、要素研究から試作、実用化まで早期に一貫して行える拠点が実現する。

教育・人材育成プログラム、国際連携などによって、最高の技術、人材、情報、および機会（テーマ）を最適な時間とコストで社会に提供する場を、民間資金に地方や国の投資を加えて、自立的に維持する。そうすることで、知と産業技術の世界的集積拠点へと発展させていく。

6. 期待される波及効果

本構想で整備する共用施設、知財の仕組み、複数の企業が研究レベルで参加できる「乗合ウェハシステム」は、他の研究機関や企業にとっても魅力であり、国内外を問わず幅広い参加が見込まれる。本拠点は大学の知を触媒とした企業間や研究機関間の垣根を取り払っ

たわが国初の産学、産産学連携に基づく開かれた研究開発システムとして、技術面、社会システム面からも野心的拠点となっている。協力関係にある先進的海外研究機関の参加も期待できることから、日本の研究および産業の一層のグローバル化、国際競争力向上を引き起こすことができる。そのため、研究開発プロセス、社会システムの両面から他研究機関のシステム改革の先駆けとなる。

7. 実施体制

東北大学総長のイニシアチブのもと、特定領域研究推進支援センター、本拠点参加全教員、全協働機関の代表者からなる運営委員会を最終意思決定機関とする。さらに、教員代表者および主要企業の代表者からなるスタッフ会議を設け、協働機関の日常的拠点運営への参加を図り、迅速な運営上の意思決定や課題解決を図る。必要に応じて具体的な課題（施設運営、知的財産、広報、研究開発システム）を担当するワーキンググループを設け、現場に即した機動的な意思決定を可能とする。また、融合推進研究会を設置し、拠点参加の教員、協働機関で実施されている研究開発の発表、討論を実施する。そうすることで、拠点内の研究の共有化や参加教員、協働機関の融合も図れる。

拠点化構想に関わる研究者等

氏名	所属部局・職名	当該構想における役割
◎里見 進	東北大学 総長	総括責任者
○小野 崇人	東北大学 教授	研究統括
田中 秀治	東北大学 教授	次世代携帯機器の研究リーダー
桑野 博喜	東北大学 教授	センサネットワーク・高機能センサの研究リーダー
羽根 一博	東北大学 教授	光マイクロシステムの研究リーダー
末永 智一	東北大学 教授	バイオ・医療マイクロシステムの研究リーダー
寒川 誠二	東北大学 教授	製造・検査装置の研究リーダー

8. 各年度の計画と実績

a. 平成 19 年度

計画； LSI と MEMS の融合（集積化）の基盤技術開発として、乗合ウェハの設計、融合化のための接合・貼り合わせ、低ダメージプロセス、実装評価などの開発を開始し、個別マイクロシステムの設計・試作を行う。知財などの取り扱いに関する最適な契約基盤の検討を進める。

・実績

次の 5 つの研究分野「次世代携帯機器の研究、無線センサ、超高感度・高機能センサの研究、光マイクロシステムの研究、バイオ・医療マイクロシステムの研究、製造・検査装置の研究」を開始した。それらに対して、乗合ウェハシステムを立ち上げ LSI の設計や、それぞれのマイクロシステムの研究を開始し、課題抽出を行って次年度以降への研究開発指針を得た。高精度ウェハ張り合わせ技術や低損傷エッチングプロセス、コンフォーマル製膜用装置開発など、基盤技術となる LSI と MEMS の融合化技術確立を開始した。また、「技術社会システムの研究」を開始し、新たな仕組みとして、大学、企業が基盤技術の知財を共有する「パテントバスケット」の導入を図った。

b. 平成 20 年度

・計画； 様々の LSI が試作された乗合ウェハ上にマイクロシステムを形成する。貼り合わせ、低温プロセス、低欠陥成膜・エッチング、実装などの基盤技術を明確化していく。協働機関との新たな知的財産システム（パテントバスケット）を運用する。乗合ウェハシステムのルール化を実施していく。

・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

「乗合ウェハシステム」により、LSI 設計し、LSI 上での MEMS プロセスの開発をした、デバイスの試作を行い原理を実証した。

(2) 無線センサ、超高感度・高機能センサの研究

開発中のマイクロシステムに LSI を集積化するため CMOS 回路の設計および LSI との融合技術を開発した。

(3) 光マイクロシステムの研究

走査領域可変や低電圧駆動を狙った光スキャナの試作・駆動に成功した。解像度可変用焦点可変ミラーを製作し、光スキャナと組み合わせることに成功した。また微小光学部品用に、接合技術を開発した。

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

μ ウェルアレイ電極デバイスを作製し、単一細胞での電気化学信号検出に成功した。流路に実装の集積型水晶振動子センサで抗体の固定、抗原-抗体反応を計測できることを示した。血管内イメージャ用、体内用高解像度イメージングプローブ用 LSI の設計を行った。

(5) 製造・検査装置の研究

以下の研究開発を進め、原理実証や機能確認を実現した。

①並列電子線描画システム、②コンフォーマル製膜装置、③三次元積層デバイスの実装評価技術、④高速・高精度・欠陥フリーエッチング装置、⑤高周波高分解能磁界プローブ、⑥MEMS と LSI の集積化のためのウェハ貼り合わせ・接合技術。

(6) 技術社会システムの研究

海外拠点の調査、乗合ウェハシステムの課題の抽出、必要なルールの策定や仕組みの構築を行った。

c. 平成 21 年度

計画； 基盤技術を、拠点や共通利用可能な技術として確立する。乗合ウェハシステムを構築して、研究開発システムを軌道に乗せ、実用化に向けた研究課題の検討を行う。社会人向け実践的育成プログラムを実施し、不足している本分野の研究者・開発者を育成する。連携企業との知的財産システムを充実させ軌道に乗せる。

・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

集積化無線チップの性能向上の指針を見出した。オンチップ高周波スイッチング DC-DC コンバーのモデルインダクタを設計できた。LSI チップ上コブレナ線路のノイズ抑制効果を明確化した。マイクロ SOFC 用成膜技術開発に成功し、起電力発生を確認した。

(2) 無線センサ、超高感度・高機能センサの研究

表面弾性波センサの応用可能性を明らかにした。環境用センサの LSI との一体化技術を考案した。過酷環境センサの動作確認した。回転体用無線センサを加工装置に取り付けて設計指針を得た。

(3) 光マイクロシステムの研究

走査領域可変スキャナの動作を確認した。焦点可変ミラーの開発を行い、スキャナと組み合わせて機能を確認した。

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

集積型 μ バイオセンサシステムの機能を実証し電気化学的検出を可能とした。抗体固定機能集積バイオ流体研究で細胞収集システム試作ができた。医療用超音波・MRI デバイス用 LSI 設計・試作を行い動作確認と実装を行い課題を見出した。

5) 製造・検査装置の研究

金属や樹脂を用いたウェハ接合技術のデバイスへの適応可能性、中性粒子ビーム装置を用いて超低損傷 Si エッチング、コンフォーマルコーティング装置でテフロンコーティング技術、三次元実装用非破壊非接触検査システム性能向上、光制御並列電子源のリソグラフィ性能を実証した。三次元電磁界プローブにより LSI/MEMS の電磁ノイズ問題を明確化した。

(6) 技術社会システムの研究

本拠点形成に向けてオープンコラボレーション、人材育成、拠点の世代交代などの方針と戦略についての提言を行った。

d. 平成 22 年度

・計画； 基盤技術を拡充し、個々のマイクロシステムの研究開発を継続する。乗合ウェハ試作 LSI と MEMS の融合機能を実証して乗合ウェハシステムの有効性を確認する。いくつかのマイクロシステムが、コンセプトの実証段階から試作品開発段階に移行する。新たなコンセプトのマイク

ロシステムや関連技術の研究開発を開始する。

・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

LSI 上に集積化した SAW 共振子のデバイス動作、LSI 上磁性薄膜の GHz 帯で放射ノイズ抑制、 μ SOFC に混合導電性固体電解質電極材料を用いることでの出力向上を確認した。電力用マイクロインダクタの設計法を開発した。

(2) センサネットワーク・高機能センサの研究

表面弾性波応用歪センサの実現性、ガス分析用分光器用センサネットワーク用デバイス動作、遷移確率利用の過酷環境用センサの原理、LSI 集積化触覚センサの動作などを確認した。

(3) 光マイクロシステムの研究

μ ミラー光スキャナを使った距離画像計測装置を試作し、距離画像取得に成功した。

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

乗合ウェハ LSI 集積型 μ バイオセンサシステムを作成し酵素イメージングに成功した。MRI プローブ用 LSI および超音波デバイスについて、体内挿入可能な実装・集積化試作を行い、磁場の撮像への影響がないことを確認した。

(5) 製造・検査装置の研究

並列電子源のアレイ密度向上のため、光制御型電子源を開発し課題を明らかにした。ALD 装置での SOFC 用複合酸化物製膜が可能となった。MEMS/LSI 融合実装システムの接続信頼性の基本設計指針が構築できた。MEMS デバイスの無欠陥加工法としての中性粒子ビームプロセスの有効性を示せた。LTCC 基板の陽極接合と電気接合を協働機関で実施できるレベルにすることができた。

e. 平成 23 年度

・計画； 研究開発を継続し、いくつかのマイクロシステムがコンセプトの実証段階から試作品開発段階に移行する。また、新たなコンセプトのマイクロシステムや関連技術の研究開発が進行する。

・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

SAW 共振子の性能目標値を達成した。マイクロインダクタの巻線型を設計し性能向上課題を見出した。CoZrNb 磁性薄膜を LSI 上に積層し 2.1GHz 帯で 15dB のノイズ抑制を実証した。エキシマレーザによる SOFC 用電解質膜と電極の最適化で数 mW/cm² の発電密度を室温で達成した。

(2) センサネットワーク・高機能センサの研究

表面弾性波素子実装で、センサとしての可能性を明らかにした。ガス分析用分光器型センサの干渉計開発を実施した。遷移確率利用の過酷環境用センサのシステム開発も行い動作確認ができた。触覚センサネットワークの配線取り出し法・データ処理の実験的課題出し・解析を実施した。

(3) 光マイクロシステムの研究

μ アクチュエータの性能改善を行った。光通信用ミラーデバイスの設計と試作、集積化のため乗合ウェハ LSI 設計を行った。

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

乗合ウェハの改良型 LSI 開発とその周辺制御機器およびソフト開発が完了し、基礎的電気化学測定が行えるプラットフォームが整った。乗合ウェハ試作 LSI を集積化した MRI プローブを作成し、有効性を確認した。

(5) 製造・検査装置の研究

光スイッチング可能な電子源アレーを開発し、電子線描画装置を作成した。ALD 装置で YSZ、アルミナ、白金製膜が可能となった。中性粒子ビームエッチングにより損傷の低下が実証された。中性粒子ビーム CVD により DLC 膜堆積実験を開始した。高周波近傍磁界計測プローブ用に、増幅器・新規コイルを設計し、高帯域の目標を達成した。LTCC

利用技術に関して、多孔質ビアの新しい形成法を開発した。
f. 平成 24 年度

・計画；いくつかのマイクロシステムが試作品開発段階から実用化開発段階に移行する。開発したマイクロデバイスのシステムへの組み込みや実際のな形での試用を進める。

・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

AlN Lamb 波共振子の特性改善、乗合ウェハ試作 LSI を SAW 共振子と集積化して発振器のデモンストレーションを行った。 μ SOFC の断熱パッケージのデバイスを作製した。微粒子型磁性薄膜インダクタを設計・試作し、空芯に対し 3~5 倍のインダクタンス値上昇を確認した。

(2) センサネットワーク・高機能センサの研究

センサネットワークのノード用低消費電力型表面弾性波センサの原理検証を行った。フーリエ変換型赤外分光センサのプロトタイプで、二酸化炭素や水蒸気が検出できることを示した。Si 製確率型重力センサの読み出し回路等を改良し高 SN 比の読み出しを実現した。SOI 利用高温圧力センサをシステム化し信頼性検証を実施した。専用 LSI と集積化したパートナーロボット用ネットワーク型触覚センサの動作を確認し、それらをバス接続しデモンストレーションシステムを構築した。

(3) 光マイクロシステムの研究

レーザセンシングシステム用 μ ミラー光スキャナ試作により広角度の安定走査を実現できた。遠赤外光用センサノードと、集光マイクロレンズを作成してモジュール化したサンプルを作り、人体動作を検出できることを確認した。

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

超高感度電流検出型バイオ LSI 計測システムの周辺機器、ソフトウェアの改良を行った。その応用とニーズ探索のため、協働研究機関との予備実験、システム立上および貸し出しを開始した。MRI プローブ用耐圧保護回路の検討を行い効果を確認した。体内用超音波センサのレイアウトに配置した圧電素子の作製歩留り向上のための検討を行った。

(5) 製造・検査装置の研究

試作した ALD 装置を元に協働機関企業と共に 6 インチウェハ対応の装置デザインを進め、実用装置用の機構検討を進めた。ワイヤボンディング工程での超音波衝撃損傷の定量的評価用 TEG チップを開発した。接続パッド下の低強度低誘電率薄膜の信頼性評価に活用していく。8 インチ対応中性粒子ビームエッチング装置を用い、中性粒子ビームエッチングの低損傷性が示された。触覚センサ用 Si のセンサ構造体と LTCC ウェハとの接合および電気接続ができることを確認した。キャビティを形成した MEMS ウェハと、電気接続用の Au バンプを形成した LTCC 基板との陽極接合と電気接点の一括実装技術開発を行い、MEMS への応用範囲が広がって新たな用途の製品開発に適用できた。

g. 平成 25 年度

・計画；融合マイクロシステム向け LSI を開発し、高機能な集積化マイクロシステムを実現するための基盤技術を確認する。拠点としての共用施設を整備して世界的な拠点に応じた開かれた研究開発システムを構築する。集積化マイクロシステムの機能を確認し実用化の見通しを得る。

・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

AlN Lamb 波共振子の更なる特性改善、高周波数安定化のための水晶振動子と LSI 最適設計、不要電磁放射抑制用磁性膜によるノイズ抑制と通信性能改善の両立、 μ SOFC のパッケージについて排気ガスからの排熱回収機構を設けることで次世代携帯への内蔵可能性の実証を行った。

(2) センサネットワーク・高機能センサの研究

表面弾性波利用ひずみ、加速度、ジャイロの各センサの

実応用を目指して信号処理回路の乗合ウェハ LSI 化の設計を終了し、広帯域化、大出力化も実験的に実証した。フーリエ変換型赤外分光センサの高分解能・高感度化の改良を進め、周辺回路技術も確立した。SOI 利用高温圧力センサの信頼性試験結果に基づき課題解決を図り、SOI 素子単体では仕様を満足し良い特性が得られた。触覚センサと LSI 接合の高信頼性・高歩留りの集積化技術を開発した。また高速対応型触覚センサデータ処理システム全体を開発し、高感度高速なシステムを実現した。

(3) 光マイクロシステムの研究

レーザセンシングシステム向けマイクロミラー光スキャナの高機能化を図り面走査が行えることを確認した。ライトフィールド光学デバイス基本構造を設計し、要素技術抽出し、空間変調のための駆動部の基本設計も実行動作を実証した。光通信用ミラーデバイスの LSI との集積化および LSI による制御可能性を実証した。

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

開発した 4 モード選択機能バイオ LSI を用いて酸素と過酸化水素の同時検出に成功した。これにより数種類の反応を同時検出することが可能になる。またセンサ間隔を 200 μ m から 30 μ m 間隔に高密度化させることができ、より空間解像度が高いイメージングデバイスができた。MRI プローブについては、可変容量の耐圧について設計、試作し、トランジスタをスイッチング素子として利用した保護回路を入れることで可変容量が絶縁破壊を起こさない条件を見出すことを確認できた。その結果、励起磁場強度を比較的小さく制御することで撮像が可能となり、試作した回路と体腔内 MRI 受信コイルの有効性を確認した。

(5) 製造・検査装置の研究

多元材料原子層蒸着については、6 インチウェハ基板に対応できる装置設計を行い、新設備として製作した。シリコンチップ表面に内蔵のひずみゲージにより、ワイヤボンディングで生じる動ひずみの実時間計測を確認した。放熱特性の高い銅ワイヤ用ボンディングパッド材料としてめっき銅薄膜の有用性も確認し、フリップチップ構造接続との比較用検討用 DB 化を図っている。超低損傷・大口径中性粒子ビームエッチングによる MEMS の作製を行い、平坦でダメージのないエッチング壁面が実現し非常に高い Q 値が得られた。また開発した 6 インチ対応低損傷中性粒子ビームエッチング装置を拠点に設置し、MEMS 試作に利用できる状態となった。LTCC 基板とダイアフラムを形成したシリコン基板とを陽極接合し、接合後の気密封止空間内圧力について、非蒸発型ゲッタなしでは kPa オーダの封止絶対圧力であるが、非蒸発型ゲッタを用いれば、ダイアフラムを用いたゼロ・バランス法の測定限界以下に真空度が向上することを確認した。

h. 平成 26 年度

・計画；実用化開発段階に移行したマイクロシステムの中から商品開発段階に移行するものを登場させる。

・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

次世代携帯機器の研究

OCXO 用 LSI を設計・試作して発振・温度制御機能を確認した。携帯機器の不要電磁放射抑制において材料設計の指針を得た。真空断熱構造の μ SOFC パッケージで発電動作を確認した。

(2) センサネットワーク・高機能センサの研究

通信チップと一体実装した表面弾性波応用高感度ひずみセンサ試作機 4 台を模擬橋脚に取り付けてひずみ分布を計測できることを確認した。小型フーリエ変換型赤外分光センサ用微小プリズム、赤外検出器、制御回路等測定システムの開発を行い、それぞれの動作確認が出来た。SiC

ダイオードブリッジ回路による高温圧力センサ出力を確認し回路基礎を確立した。LTCC 貫通電極と背面エッチ LSI を Au-Au 接合して集積化触覚センサを製作した。容量型センサ、抵抗センサ、温度センサ等に対応するプラットフォーム LSI の設計・製造を行った。

(3) 光マイクロシステムの研究

レーザセンシングシステム向け焦点可変ミラーの開発を行い従来面積の 4 倍の焦点可変ミラーが出来た。ライトフィールド光学用シャッター素子としてエレクトロウエッチング流路デバイスを試作して流体の初期導入を確認した。異種材料光マイクロデバイスの集積化技術として GaN/Si ウエハと Si ウエハのスピノンガラス接合を実証した

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

開発したバイオ LSI の電位測定モードで酵素活性や呼吸活性を介した細胞評価が可能になった。また電圧印可オンオフモードを用いたバイオセンサ応用も確認した。200nm ギャップのナノ流路を組み込んだ高密度センサデバイスを開発して胚性幹細胞の活性評価を実証した。MRI プローブ受信回路用バラクタの最適化を行い、Q 値 32 を達成した。撮像実験での画像 SNR は約 10 であった。

(5) 製造・検査装置の研究

ナノクリスタルシリコンを用いた電子源及び露光実験装置、周辺回路を開発して、15×15 の電子源による 1:1 等倍系でのマトリックス露光を確認した。開発した 6 インチ基板対応原子層蒸着装置で Al₂O₃ 膜を 0.1nm/cycle で形成できることがわかった。酸化 Ta 微結晶層を下地として形成した銅配線は配線寿命が 100 倍向上することを確認した。中性ビームエッチングにより AlGaIn/GaN ヘテロ構造 HEMT の低閾値化が可能になった。Si ナノ細線センサを用いた磁気共鳴力顕微鏡の出力をスピン密度に変化するアルゴリズムを開発し 3 次元スピン密度分布を得ることが出来た。

i. 平成 27 年度

・計画； 構築した研究開発システム、人材育成・教育システム、および知的財産システムを運用し、継続的に成果を生み出す。前年度の活動・成果を一層充実させる。
・実績

(1) 次世代携帯機器の研究

OCXO 用 LSI の評価を進め、水晶共振器と一体化して OCXO 動作を確認した。さらに小型化を図った LSI を設計した。伝導雑音伝搬経路上に合金系 CoNbZr 薄膜を集積化実装して、不要電磁放射の抑制を確認した。陽極酸化ポーラスシリコンを支持体として μ SOFC 試作し、電氣的、機械的安定性の向上を確認した。

(2) センサネットワーク・高機能センサの研究

通信チップと一体実装した表面弾性波応用高感度ひずみセンサ試作機の疑似フィールド実験を行い、鋼板などで 10⁻⁶ のひずみを測定できることを実証した。さらに試作センサを模擬橋脚に取り付けてひずみ分布を計測できることを確認した。表面弾性波ジャイロセンサでは共振周波数 9.7MHz で感度 7.83×10⁻³Hz/deg・s⁻¹ を達成した。疫病等を簡易検査するイムノセンサ向けに改良設計した LSI の動作を確認した。無線把持力センサ付の旋盤チャックを開発した。センサプラットフォーム LSI の機能検証を行った。触覚センサと LSI を集積化して 3 軸の力検出が高感度低ヒステリシスで得られることがわかった。さらに付加価値の高いセンサプラットフォーム LSI を設計・製造した。

(3) 光マイクロシステムの研究

レーザセンシングシステム向け焦点可変ミラーで周波数ずれを補正する静電アクチュエータを開発した。焦点可変量をモニタ用のピエゾ抵抗焦点センサの信号出力を確

認した。ライトフィールド光学用シャッター素子用として貫通穴配列構造のエレクトロウエッチング流路デバイスを試作した。

(4) バイオ・医療マイクロシステムの研究

開発したバイオ LSI の電位測定モードで幹細胞の分化評価が可能になった。また神経細胞での神経伝達物質と呼吸活性の同時検出を実現した。シート状のバイオ MEMS パッチでマイクロチャネルを内包するポリマー製無痛ニードルアレイを開発した。血管内超音波イメージングのためのトランスデューサーと送受信集積回路の実装を行い、LTCC と PEEK 材を用いて直径 2.5mm、硬性部分 10mm の形状とすることが出来た。

(5) 製造・検査装置の研究

ナノクリスタルシリコンを用いた電子源を改良し電子放出効率を向上、コンデンサーレンズによる電子線収束の実証、駆動 LSI の基本動作を確認した。6 インチ基板対応原子層蒸着装置で形成した 20nm 程度の Al₂O₃ 膜がプロセス中で金属線が交差する部分のエッチング耐性膜に使用できることがわかった。シリコン貫通配線構造におけるめっき銅配線の信頼性向上にはめっき下地の結晶品質制御が重要であることを明らかにした。中性ビームプロセスにより AlGaIn/GaN HEMT の特性が改善することを明らかにした。アルミニウム膜を用いた接合において鈴薄膜でキャッピングすることで 400℃ の低温接合が可能になった。

(6) 開かれた研究開発システムの構築

人材育成

マイクロシステム実現に必要な技術力を、現在開発に従事している企業の技術者、および関連分野の大学院生に獲得してもらうため、8 月 5~7 日の期間で豊橋技術科学大学において、「MEMS 集中コース」の形式で最新の技術情報提供と、関連する技術指導を行った。指導は拠点に参加の 14 人の東北大学の教員が実施し、161 名の参加があった。

j. 平成 28 年度

・計画； 新規な知財取り扱いに基づく知財群および大学の知を触媒とした企業同士の研究開発を可能とする開かれた研究開発システムが確立され運用できる拠点が構築される。開発した融合化マイクロシステム技術が様々な分野で市場競争力を生み出す源泉となり、構築された拠点を運用して新たなイノベーションの種を継続的に生み出す。また、専門的知識を有するとともに、拠点を理解するマイクロシステム分野のイノベーションを支える人材の継続的供給源となる。そして、本拠点の成果を、企業が事業として育てていくことができる拠点となっている。

9. 年次計画

項目	19年度	20年度	21年度	22年度	23年度
◎機関全体としての拠点化構想	革新的マイクロナノ集積化・加工技術の開発			集積化・加工の産業化技術の開発	
基盤技術の開発	乗合ウェハによる融合デバイス、センサシステムなどの開発				
応用展開	人材育成プログラムの整備			人材育成プログラムの推進	
人材育成	知的財産制度の整備				
システム改革				開かれた共用施設を中心とする開かれた研究開発システムの構築	
◎補助金等充当計画	LSI とマイクロシステムの融合技術の研究 (革新的プロセス技術の研究)			LSI とマイクロシステムの融合技術の展開	
基盤技術の開発 (集積化技術)			LSI 集積化マイクロシステムの開発		
応用展開 (集積化技術応用)				基盤技術の展開による共用施設の整備	
拠点設備の整備				産学連携モデルの実践・検証	
産学連携モデルの構築		産学連携モデルの調査・研究・提言			
総計	750 百万円	630 百万円	637 百万円	904 百万円	1,097 百万円
うち補助金分	302 百万円	293 百万円	300 百万円	490 百万円	591 百万円

項目	24年度	25年度	26年度	27年度	28年度
	革新的マイクロ・ナノ加工の産業化技術の開発				
◎機関全体としての拠点化構想					
基盤技術の開発	集積化マイクロ医療化ツール、集積化光システム、製造検査装置、高感度センサなどの開発				
応用展開					
人材育成	人材育成プログラムの推進・人材の供給			実用化・産業化	
システム改革	共用施設を中心とする開かれた研究開発システムの構築			開かれた研究開発システムの実践	
◎補助金等充当計画					
基盤技術の開発 (集積化技術)	LSI とマイクロシステムの融合技術の展開				
応用展開 (集積化技術応用)		LSI 集積化マイクロシステムの開発			
拠点設備の整備			イノベーション実現のための実用化・産業化技術の開発		
産学連携モデルの構築		基盤技術の展開による共用施設の整備		産業化設備の整備	
		産学連携モデルの検証	開かれた産学・産産学共同研究開発・実用化開発体制確立		
総計	992 百万円	912 百万円	826 百万円	704 百万円	634 百万円
うち補助金等分	559 百万円	517 百万円	398 百万円	363 百万円	344 百万円

10. 諮問委員会

委員	所属	備考
川合 知二	大阪大学 産業科学研究所 特任教授	
岩井 洋	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 名誉教授	
井深 丹	タマティエルオー (株) 代表取締役会長	
桑原 洋	日立マクセル (株) 名誉相談役	
堀池 靖浩	筑波大学 大学院数理物質科学研究科 特命教授	