

[011]九州大学産学連携センター年報 : 11

<https://doi.org/10.15017/15511>

出版情報 : 九州大学産学連携センター年報. 11, 2005-09-30. 九州大学産学連携センター
バージョン :
権利関係 :



5. プロジェクト部門事業

5.1 プロジェクト部門の目標

本センターには平成11年度からプロジェクト部門が新設された。この部門は、九州大学の中に大きな研究シーズがあり、また九州地域あるいは西日本地域の企業に多くのニーズがある先端科学技術領域として、1) 先端機能デバイス、2) 先端機能材料、3) 環境・新エネルギー、4) 電離気体・レーザー、の4つを重点領域として定めた点に特長がある。

九州地域からの新産業技術のシーズ創出を大学主導で行う場合、九州地域で充実ニーズの高い産業分野において、プロジェクト研究を推進することが不可欠となる。そのために、プロジェクト部門客員教授にプロジェクトの企画・推進に対して企業側からの適切なニーズに関する助言を行う役割を果たして頂き、学内の部局間・企業間を横断的に連携した大学主導の先端プロジェクト研究を強力に推進することが必要となる。また、プロジェクト推進には大学院の学生はもとより国内外の優秀な博士研究員を積極的に招いてプロジェクト研究に投入する。

従って、本プロジェクト部門は

- 先端的プロジェクト研究による高度な産業技術シーズの創出

を目標に掲げて、以下の3つの項目を実施する。

- 1) 産学官の研究者等からなる研究チームの結成
- 2) 先端研究領域における国内外の博士研究者の招聘
- 3) 横断型プロジェクトの企画と推進

更に、リエゾン部門及びデザイン総合部門との協力により、

- 産学官交流による地域社会等への貢献

を達成できるように活動を展開している。具体的には以下の3つの項目を実施する。

- 1) 民間企業等との共同研究・受託研究の推進
- 2) 産学官交流の場の提供と研究シーズの発信
- 3) 産業ニーズの発掘と産学官研究プロジェクトのコーディネートの推進

5.2 プロジェクト部門の活動状況

5.2.1 先端機能デバイス領域（中島 寛教授）

① 目的

本領域においては、産学連携プロジェクトチームを組織することにより、次世代半導体産業の要求に応える基板材料、薄膜材料、新規プロセス技術、新機能デバイスに関する研究を行うとともに、高度情報社会の実現に貢献できる先端的、独創的な半導体関連のプロジェクト研究を企画・推進することを目的としている。センターにはクリーンルームが設置されており、半導体研究を実施する環境は整っている。

② プロジェクト研究(概要については後述)

- (a) 高速・省電力LSI用高機能Siウェーハの研究開発
- (b) 省電力LSI用高誘電率ゲート絶縁膜のプロセス開発
- (c) 重金属ゲッターリングによる単結晶太陽電池の高効率化

③ 外部資金導入実績(平成16年度)

<プロジェクト>

- 文部科学省 科学技術振興調整費

プログラム名: 産学官共同研究の効果的な推進

研究課題名: 「次世代LSI用高機能Siウェーハの研究開発」

研究代表者: 宮尾 正信

研究組織: 三菱住友シリコン(株)、九州大学大学院システム情報科学研究院、九州大学産学連携センター、九州大学大学院総合理工学研究院、九州工業大

学

研究期間: 平成16～17年度

- 経済産業省・地域新生コンソーシアム研究開発事業

研究課題名: 「省電力LSI用高機能Siウェーハの研究開発」

研究代表者: 中島 寛

研究組織: 三菱住友シリコン(株)、福菱セミコンエンジニアリング(株)、九州大学産学連携センター、九州大学大学院総合理工学研究院、九州大学大学院システム情報科学研究院、九州工業大学、(財)福岡県産業・科学技術振興財団

研究期間: 平成16～17年度

<科学研究費>

- 基盤研究(B)(2)(課題番号:16360156)

研究代表者: 中島 寛

課題名: 「省電力LSI用高誘電率ゲート絶縁膜の自己整合プロセス開発」

研究期間: 平成16～17年度

<民間との共同研究>

- 研究題目: 「シリコン中の格子欠陥評価と制御」

<奨学寄付金>

- 受入数 : 2 件 (平成 16 年度)

④ 研究業績 (平成 16 年度)

(a) 論文発表等 : 計 7 件

- 原著論文 : 3 件
- 著書、総説 : 0 件
- 国際会議プロシーディング等 : 4 件

(b) 学会発表 : 計 14 件

- 国内学会 : 10 件
- 国際学会 : 4 件

(c) 特許等 :

- 国内特許出願数 : 0 件
- 公開特許公報 : 0 件

(d) 論文リスト (平成 16 年度発表の 10 件以内)

- Method for Detecting in Silicon-On-Insulator Using Capacitance Transient Spectroscopy
H. Nakashima, D. Wang, T. Noguchi, K. Itani, J. Wang and L. Zhao
Jpn.J.Appl.Phys., Vol. 43, No. 5A, pp. 2402-2408 (2004).
- Optimization of Ar-diluted N_2 electron cyclotron resonance plasma for high-quality SiN film growth at low temperature
N. H. Luu, L. Zhao, D. Wang, Y. Sugimoto, K. Ikeda, H. Nakashima and H. Nakashima
Engineering Sciences Reports, Kyushu University (KYUSHU DAIGAKU SOGORIKOGAKU HOKOKU), Vol. 26, No. 1, pp. 1-8 (2004).
- Development of Strained Silicon Wafer for Next Generation ULSI
H. Nakashima, M. Nakamae, M. Miyao, H. Okushi, T. Asano and H. Hagino
2004 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices pp. 75-80 (2004) .
- Electrical Characterization of Strained Si/SiGe Wafers using Transient Capacitance Measurements
D. Wang, M. Ninomiya, M. Nakamae and H. Nakashima
Extended Abstracts of the 2004 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp. 526-527 (2004).
- Evaluation of Interface States and Minority Carrier Generation Lifetime for Strained Si/SiGe Wafers Using Transient Capacitance Method
D. Wang, M. Ninomiya, M. Nakamae and H. Nakashima
2004 the 7th International Conference on Solid-State and Integrated

Circuits Technology Proceedings, pp. 2148–2150 (2004).

- Electrical Characterization of Strained Si/SiGe Wafers using Transient Capacitance Measurements
H. Nakashima, D. Wang, M. Ninomiya, M. Nakamae
The 4th International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials (JSPS Si Symposium, Abstracts), pp. 365–369 (2004) .
- Electrical characterization of strained Si/SiGe wafers using transient capacitance measurements
D. Wang, M. Ninomiya, M. Nakamae, H. Nakashima
Appl. Phys. Lett., 86, 122111 (2005) .

⑤ 学会活動等実績（平成 16 年度）

- 応用物理学会九州支部理事
- 応用物理編集委員
- 科学技術振興事業団研究成果活用プラザ・技術評価委員会 委員長
- 九州地域産学半導体イノベーション研究会 委員
- 独立法人物質・材料研究機構：研究開発課題「電子・光極微応答の解明と半導体機能の発現に関する研究」評価委員

⑥ 研究員等受け入れ実績（平成 16 年度）

- 氏名（国籍）：王 冬（中国）
受入れ身分：学術研究員
研究テーマ：「歪 Si-SG01 ウェーハの欠陥評価と制御」
受入れ期間：平成 16 年 4 月～平成 17 年 3 月
- 氏名（国籍）：井 誠一郎（日本）
受入れ身分：客員研究員
研究テーマ：「歪 Si-SG01 ウェーハの構造解析」
受入れ期間：平成 16 年 9 月～平成 17 年 3 月

⑦ 代表的プロジェクト研究内容

(a) 「次世代 LSI 用高機能 Si ウェーハの研究開発」

研究体制：三菱住友シリコン（株）、システム情報科学研究所、KASTEC 先端機能デバイス領域、総合理工学研究所、九州工業大学

研究経過：このプロジェクト（研究代表者：宮尾 正信）では、平成 15 年度に終了した歪 S01 ウェーハプロジェクト（研究代表者：中島 寛）で構築した技術基盤をさらに発展させ、超高速回路向けに特化した超薄型の高機能ウェーハ開発を行うことを目的としている。

この中で、当該グループでは、超高速 LSI 用の高機能ウェーハの電氣的欠陥を検出する手法として、(1) 高感度電氣的検出法、(2) 高感度光学的検出法、(3) 高分解能

電子顕微鏡観測法、を検討し、それぞれの手法を構築することを目的とした。得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 埋込み酸化膜近傍の SiGe 層および歪 Si 層の結晶性を評価する手法として、dual-MOS 構造および lateral-MOS 構造の過渡接合容量から少数キャリア生成寿命を評価する手法を構築した。この方法を 3 種類の SIMOX-SOI ウェーハおよび歪 Si-SGOI ウェーハに適用し、その有効性を示した。
- (2) 歪 Si-SGOI ウェーハの歪 Si/SiGe 層の結晶性をフォトルミネッセンス (PL) 法で評価する手法にメドをつけた。
- (3) 歪 Si 層中の格子欠陥を電子顕微鏡 (TEM) 観察するための試料作製法を確立し、断面 TEM および平面 TEM 観察により転位の種類を特定した。

(b) 省電力 LSI 用高機能 Si ウェーハの開発

研究体制：KASTEC 先端機能デバイス領域、システム情報科学研究院、総合理工学研究院、九州工業大学、三菱住友シリコン（株）、福菱セミコンエンジニアリング、（財）福岡県産業・科学技術振興財団

研究経過：本プロジェクトでは、65nm ノード（2007 年）以降の省電力 LSI 用の高機能 Si ウェーハ開発を目的とし、超平坦なヘテロ界面を有する SiGe/SiO₂ (SGOI) 構造を形成する技術を開発する。これにより、歪 Si-SGOI 基板の界面欠陥を低減化する基本技術を確立すると共にウェーハの量産試作に適用し、省電力 LSI に適した漏れ電流の少ない歪 Si/SiGe/SiO₂/Si 構造からなる高機能 Si ウェーハを実現することを目指している。

この中で、当該グループでは、電子線観察手法と過渡容量分光法を基本技術として、歪 Si-SGOI ウェーハの省電力性を阻害する構造欠陥と界面欠陥を評価する技術の確立を目的とした。得られた成果は以下の通りである。

- (1) SEM-EBSP 法によりウェーハ膜面の結晶方位を明らかにした。結晶方位はウェーハ内の中央部分と端部では分布に相違が認められ、特に隣接領域間の方位差にその結果は顕著に現れた。また、その方位差は AFM によって測定されたクロスハッチの断面傾斜角度と比較的良好一致を示した。これにより、クロスハッチが本質的に薄膜作製時の微少な湾曲によって生成した可能性があることが示唆された。
- (2) Cross-section HREM 観察でヘテロ界面構造を観察し、いずれの界面も原子レベルで平坦であることを示した。また、Plan-view 観察で薄膜面内を広範囲に観察して転位の存在を明確に示した。
- (3) SiGe/BOX および SiO₂/歪 Si の界面欠陥を電氣的に評価する手法を確立した。SiGe/BOX 界面は Ge 濃度の増加で界面準位密度が増加し、これは SiGe/SiO₂ の物性に起因することを示した。また、SiO₂/歪 Si 界面は、B 拡散により表面凹凸が増し、界面準位密度が増加することを示した。

(c) 「省電力 LSI 用高誘電率ゲート絶縁膜のプロセス開発」

研究体制：KASTEC 先端機能デバイス領域、総合理工学研究院

研究経過：平成 16 年度に採択された日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費補助金 基盤

研究 (B) (2) 基盤研究「省電力 LSI 用高誘電率ゲート絶縁膜の自己整合プロセス開発」
(研究代表者：九州大学 中島 寛、研究期間：2 年間) を初年度として実施した。

本研究では、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマを活用した Si の低温酸化・窒化、Hf 金属膜のスパッタ堆積、金属膜の表面酸化、およびその後の酸素制御熱処理により、SiO₂ 膜換算で 1.0nm 以下のゲート絶縁膜形成に関する技術基盤を確立することを目的としている。目標は、同一膜厚の SiO₂ 膜と比較して 4 桁以上のリーク電流低減、Si 酸化膜と同程度の界面特性の実現である。また、デバイス試作により電流駆動力で 3 倍以上の向上を目指す。これを実現するため、本年度は以下のプロセスを開発した。① Ar/O₂ 混合プラズマ (最適条件：O₂/Ar=0.1/30 sccm) による 1.2nm の SiO₂ 膜形成、② スパッタリングによる 3nm の Hf 金属の堆積、③ 酸素プラズマ照射による Hf 表面酸化、を同一真空中で行い、急速熱処理により組成変調条件を広範囲に調べた。本年度に得られた成果は以下の通りである。

- (1) Hf の表面酸化時間 8 分に対して熱処理時間を 30 秒とした時、650 °C が最も低い SiO₂ 換算膜厚 (EOT) が得られた。この時の EOT は 1.3 nm であった。
- (2) 熱処理条件を 650 °C、30 秒とした時、Hf の表面酸化時間は 8.5 分が最も低い EOT が得られた。種々の処理条件を調査した結果、この条件が最適で、EOT は 1.1nm であった。また、リーク電流は同一膜厚の SiO₂ 膜と比較して 4 桁の低減ができた。
- (3) 最適条件で作成された絶縁膜は、SiO₂ と同程度に良い界面特性を有することを明らかにした。また、XPS による測定から、熱処理により HfO_x の組成が HfO₂ に変化したことを確かめた。

(d) 「重金属ゲッタリングによる単結晶太陽電池の高効率化」

研究体制：KASTEC 先端機能デバイス領域、日立製作所

研究経過：両面受光太陽電池は両面からの受光で発電する太陽電池で、高い総合変換効率が期待できることから高効率太陽電池として注目され、その研究・開発が行われてきた。日立製作所では、この両面受光太陽電池セル製造およびその産業応用を目的として、セル製造法ならびに太陽光集光方式を検討して発電効率を大幅に向上できる量産プロセスでの製造技術、および両面受光太陽電池の利点が生かせる垂直設置方式に関して開発を行っている。しかしながら、製造には素子活性領域 (p 領域) が Fe 汚染され、少数キャリアライフタイムが 1 桁以上低下する問題を抱えていた。本領域では、Fe を活性領域から除去することを目的として、鉄のゲッタリングに関する研究を平成 15 年度より開始した。本年度得られた成果は以下の通りである。

- (1) Fe のゲッタリングに有効な低温ゲッタリングの条件を明らかにし、バルク中で 10¹¹ cm⁻³ まで Fe を除去できることを示した。
- (2) Fe の汚染濃度により Fe のゲッタリング挙動が異なることを見出した。中位の Fe 汚染では p⁺ 層の存在に関係なく、Fe は表面層にゲッタリングされる。低位の Fe 汚染では、p⁺ 層が有効にゲッタリングサイトとして機能する。従って、Fe の除去には、中位、低位の Fe 汚染のいずれにも有効となる p⁺ 層による低温ゲッタリングが有効である。

⑧ 今後の研究計画

- ① 文部科学省 科学技術振興調整費 「産学官共同研究の効果的な推進」：プロジェクト名「次世代LSI 用高機能Si ウェーハの開発」（研究代表者：宮尾正信、研究期間：2年間）において、超高速回路向けに特化した超薄型の歪SOI ウェーハ開発を実施中である。当該グループは、共同研究機関として「電氣的欠陥の高感度評価とマッピング」を担当し、平成17年度は、(1) 高感度電氣的検出法、(2) 高感度光学的検出法、(3) 高分解能電子顕微鏡観測法を用いて薄膜型歪Si-SGOI ウェーハの欠陥を評価する。これらの結果を結晶成長グループにフィードバックし、他機関と連携の元、欠陥低減化プロセスを確立する。
- ② 経済産業省 地域新生コンソーシアム研究開発事業：プロジェクト名「省電力LSI 用高機能Si ウェーハの開発」（研究代表者：中島 寛、研究期間：2年間）において、低消費電力回路用途の歪SOI ウェーハ開発を実施中である。当該グループは、過渡容量法、電子線後方散乱回折法を省電力用（低い漏れ電流）の歪Si-SGOI ウェーハに適用して、省電力性を阻害する界面欠陥と構造欠陥を評価し、ウェーハの高品質化指針を提示する。
- ③ 日本学術振興会（JSPS）科学研究費補助金 基盤研究（B）(2) 基盤研究「省電力LSI 用高誘電率ゲート絶縁膜の自己整合プロセス開発」（研究代表者：九州大学 中島 寛、研究期間：2年間）において、酸化膜換算で1.0 nm の極薄高誘電率絶縁膜形成プロセスの確立に向けた研究を実施する。
- ④ 平成15年度より推進している日立製作所との研究「重金属ゲッタリングによる単結晶太陽電池の高効率化」は、次年度も引き続き実施する。
- ⑤ 平成15年度より推進しているイーエヌジー（株）との共同研究（B）「シリコン中の格子欠陥評価と制御」の研究を引き続き実施する。

5.2.2 先端機能材料領域（桑野範之教授）

① 目的

合金、セラミックス、半導体材料などの機能特性の発現と効率向上には微構造制御が共通のキーテクノロジーである。本領域においては、主に光・電子・磁性に関わる次世代機能材料を対象として研究を行う。具体的には、透過型電子顕微鏡（TEM）、走査型電子顕微鏡（SEM）、およびそれらに付随した解析技法（EDS, CBED, EELS, EBSD など）を駆使して、結晶の成長過程、微細組織形成機構、欠陥発生原因を明らかにし、それらの結果を材料設計や製造プロセスにフィードバックさせることにより、新規機能材料の開発を図る。また、TEM および SEM 解析技術の改善にも力を入れるとともに、デバイス開発・研究の現場における解析技術の浸透およびステップアップを図る活動を推進する。

② プロジェクト研究（概要については後述）

- (a) III-族半導体薄膜結晶の成長機構と欠陥構造の制御
- (b) 相変化を利用した機能性材料の組織制御
- (c) 異相界面を有する機能材料
- (d) 電子材料・エネルギー機能材料
- (e) 微構造の定量的解析法の確立とナノテクへの応用

③ 外部資金導入実績（平成 16 年度）

<科学研究費>

- 基盤研究 (B) (2) (課題番号：14350342)
研究代表者：桑野範之
課題名：「希土類磁石材料の表面収着処理による微構造制御と磁気特性の改善」
研究期間：平成 14 ～ 16 年度

<民間との共同研究>

- 研究題目：「化合物半導体結晶の転位挙動」
民間機関：住友電気工業（株）
- 研究題目：「異種材料接合界面の研究」
民間機関：三菱マテリアル（株）

<奨学寄付金>

- 受入数：2 件（平成 16 年度）

④ 研究業績（平成 16 年度）

- (a) 論文発表等：計 20 件
 - 原著論文：10 件
 - 著書、総説：4 件
 - 国際会議プロシーディング等：5 件
 - その他：1 件
-

-
- (b) 学会発表：計 39 件
- 国内学会：28 件
 - 国際学会：11 件
- (c) 特許等：
- 国内特許出願数：1 件
- (d) 論文リスト（平成 16 年度発表の 10 件以内）
- Corroded microstructure of HDDR-NdFeB magnetic powders ,
L. Y. Zhu, M. Itakura, Y. Tomokiyo, N. Kuwano and K. Machida ,
J. Mag. Mag. Mater., Vol. 279, pp. 353–358 (2004) .
 - Influence of etching condition on surface morphology of AlN and GaN
layers
N. Kuwano, R. Tajima, S. Bohyama, H. Miyake, K. Hiramatsu and T.
Shibata
Phys. Stat. Sol., Vol. (a)201, pp. 2755–2759 (2004) .
 - Photoluminescence properties of ion beam synthesized β -FeSi₂,
Y. Maeda, Y. Terai, M. Itakura and N. Kuwano ,
Thin Solid Films, Vol. 461, pp. 160–164 (2004) .
 - Transmission electron microscope analysis of epitaxial growth processes
in the sputtered β -FeSi₂/Si(001) films
M. Itakura, D. Norizumi, T. Ohta, Y. Tomokiyo and N. Kuwano
Thin Solid Films, Vol. 461, pp. 120–125 (2004) .
 - YSZ/Hastelloy 基板上に作製した MgB₂ 膜の微細組織
波多聰, ハリニ・ソシアティ, 友清芳二, 桑野範之, 松本明善, 福富勝夫,
北口仁, 小森和範, 熊倉浩明
日本金属学会誌 (J. Japan Inst. Metals), Vol. 68, pp. 648–655 (2004) .
 - Electron microscopy of MgB₂ thin film on YSZ-buffered Hastelloy
Harini Sosiati, S. Hata, N. Kuwano, Y. Tomokiyo, A. Matsumoto, M.
Fukutomi, H. Kitaguchi, K. Komori and H. Kumakura
Physica C: Superconductivity, Vol. 412–414, Part 2, pp. 1376–1382 (2004) .
 - Complex permittivity, permeability and electromagnetic wave absorption
of α -Fe/C(amorphous) and Fe₂B/C(amorphous) nanocomposites ,
J. R. Liu, M. Itoh, T. Horikawa, M. Itakura, N. Kuwano and K. Machida ,
J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 37, pp. 2737–2741 (2004) .
 - Application of FIB microsampling technique to long-period ordered TiAl
single crystal with composition gradient
Satoshi Hata, Kohjiro Shiraishi, Masaru Itakura, Noriyuki Kuwano,
Takayoshi Nakano and Yukichi Umakoshi
Journal of Electron Microscopy, Vol. 53, pp. 537–540 (2004) .
 - Application of a focused ion beam mill to the characterization of a
microstructure in tin plating on a Fe 42wt% Ni substrate
-

Noriyuki Kuwano, Jia-Yu, Ryota Tajima, Shin-ichi Koga, Shuya Tsukamoto and Yasuhide Ohno

Journal of Electron Microscopy, Vol. 53, pp. 541-544 (2004) .

- 金属誘起固相成長法による非晶質 $\text{Si}_{0.6}\text{Ge}_{0.4}$ 薄膜の結晶化機構
板倉賢, 桑野範之
まてりあ, Vol. 43, pp. 1010 (2004) .

⑤ 学会活動等実績 (平成 16 年度)

- 日本金属学会評議員
- 日本金属学会九州支部理事
- 日本金属学会九州支部材料科学談話会世話人
- 日本顕微鏡学会評議員
- 日本顕微鏡学会研究分科会 (デバイス解析) 代表世話人
- 日本結晶成長学会評議員
- 応用物理学会欧文誌 "JJAP" 編集委員
- 第 5 回窒化物半導体に関する国際ワークショップ "IWNS-5" 実行委員・論文委員
- 第 8 回アジア太平洋電子顕微鏡会議 (2004) プログラム委員・セッションオーガナイザー
- 第 16 回国際顕微鏡学会 (2006) 組織委員
- 日本学術振興会第 172 委員会 (合金状態図) 委員

⑥ 研究員等受け入れ実績 (平成 16 年度)

- 氏名 (国籍): Harini Sosiati (インドネシア)
受入れ身分: 外国人特別研究員 (文部科学省ナノテク総合支援プロジェクト)
研究テーマ: 「ナノマテリアル開発のための超顕微解析支援」
受入れ期間: 平成 16 年 4 月～平成 17 年 3 月
- 氏名 (国籍): Ram Kishore (インド)
受入れ身分: 招聘教授 (ベンチャービジネスラボラトリー)
研究テーマ: 「ナノ蛍光体結晶の量子化とナノ組織制御」
受入れ期間: 平成 16 年 9 月～平成 16 年 12 月

⑦ 代表的プロジェクト研究内容

(a) 「III-V 族半導体薄膜結晶の成長機構と欠陥構造の制御」

- 「AlN テンプレートを用いて成長させた AlGaIn 薄膜の低転位密度化」

研究体制: 先端機能材料領域、三重大学工学部、名城大学

研究経過: GaN を中心とした青色発光ダイオードに関しては既に実用段階に入っている。それに入れ替わるようにして、研究テーマの中心は短波長域の AlGaIn あるいは $1.5\ \mu\text{m}$ 帯を目指した InN 系に移行しつつある。これに呼応して、良質の AlGaIn 薄膜の重要性が叫ばれているが、GaN 系で用いられているマスクによる横方向成長法 (ELO) が AlGaIn ではうまく機能しない。そのため、新たな成長技法の開発を行う必要がある。成長層内の転位挙動に及ぼす基板の効果を利用して、まず AlN 基板表

面をリソグラフィにより凹面になるように加工した。その結果、AlN 内の転位は AlGaN 層内に伝播するものの AlN 基板表面に対し垂直方向に屈曲し、その結果、転位密度が粗密になって、転位密度が平均で $10^9 - 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ だったものが 10^7 cm^{-2} 台の領域を作り出すことができるようになった。さらに、AlN テンプレート作製条件を制御することにより、テンプレート表面を小さなファセット面で覆われるようにすることにより、AlGaN 成長過程を変調させ、低転位密度化技術開発の指針を得ることができた。

▪「正方ドットマスクによる低転位密度化」

研究体制：先端機能材料領域、九州大学大学院総合理工学研究院、古河機械金属（株）
研究経過：低転位密度 GaN 薄膜を成長させる方法としてマスクを用いた横方向エピ成長法が広く用いられている。通常はストライプ状のマスクが用いられるが、ストライプ・エッジに垂直方向に結晶方位が傾くなどの欠点も指摘されている。ところが、ストライプ・マスクに替えて正方形状のドット状マスクを用いると、転位密度を2桁以上減少させることができ、しかも結晶方位の傾きも見られないことがわかった。これは、超高圧電子顕微鏡による詳細な解析の結果、ドットマスクは転位自体を留めるのではなく、むしろ新たな島状 GaN 結晶を高密度に発生する働きをすることが判明した。これは、GaN 成長中に Si によるアンチサーファクタント処理による転位消滅機構と共通するものである。

(b) 「相変化を利用した機能性材料の組織制御」

▪「希土類磁石材料のリサイクルとしての電波吸収材の製造」

研究体制：先端機能材料領域、九州大学大学院総合理工学研究院、大阪大学
研究経過：NdFeB を始めとする希土類磁石材料は、自動車あるいはコンピュータやAV 機器のハードディスクドライブの強力モータ部品などに広く用いられるようになってきた。これに伴って、これらの製品が役目を終えて原材料に戻ってくる量も増大してくる。この状況において希少原料である希土類金属の再利用は地球環境保全と資源の有効利用の観点からも重要である。本研究では、NdFeB 系磁石材料を念頭において、リサイクル資源から高品質な電波吸収材料の製造を試みたものである。ここでは、将来の携帯電話などを想定して、ギガヘルツ帯近傍を目標とした。

電波吸収にはいくつかの機構があるが、ここでは、磁気モーメントの回転に伴うエネルギー損を利用する。すなわち、電波による外部磁場の変動によって、磁性相の磁気モーメントの向きが反転する際の遅れが電波の吸収となる。磁気モーメントの回転速度は、磁性相の組成と構造、寸法、形状や分布に依存すると考えられるので、製造条件と吸収特性、微細構造の関連を明らかにし、目標とする周波数帯に対応できる微細組織を追求した。

NdFeB 材料を HDDR 処理（水素化－相分解－脱水素化－再構成化）により、Fe-NdH₂-FeB₂ とし、その後、酸化処理により Fe-NdO₂-FeB₂ なる微細粒集合組織材を製造した。結果的には、非磁性の Nd₂O₃ に強磁性の Fe 結晶粒が混在している。このような複合磁性材料を用いて電波吸収板を作製する。吸収特性は磁性相の微細組織により大きく変化することが確かめられた。この両者の関連に関する成果は、ある特定

の周波数を吸収する材料、あるいは広い範囲の周波数の電波を均一に吸収できる材料への製造設計の指針とすることができた。

(c) 「異相界面を有する機能材料」

■「化合物半導体結晶の転位挙動」、「異種材料接合界面の研究」

研究体制：先端機能材料領域、住友電気工業（株）、三菱マテリアル（株）

研究経過：本研究はそれぞれ、住友電気工業（株）、三菱マテリアル（株）との共同研究として行われたもので、窒化物結晶材料を取り扱ったものである。いずれの機能性材料も単独の結晶材として用いられることはほとんどなく、いずれも異種結晶材との組み合わせにより始めて機能性を発現する。その異種材料同士の接合界面は単独の結晶材には無い新たな環境であり、そこには特異な電子状態や欠陥の発生なども見られ、組織制御の観点からきわめて重要である。本年度はおもに、転位周り歪場の測定手法の改善および異種材料接合における亀裂発生機構について詳細な研究を行った。

■「キッシュグラファイトの活用に関する研究」

研究体制：先端機能材料領域、工学研究院、日本磁力選鉱（株）

研究経過：キッシュグラファイトは製鋼工程において発生する片状黒鉛であり、しばしば公害の原因となることがある。もし、これを有効に利用する方法が確立すれば、環境保全の観点からも有益である。これまで、キッシュグラファイトは潤滑材、モータ刷し材料やリチウム電池負極材として、その一部は利用されてきたが、単価が高いリチウム電池負極材としては電池特性がやや不十分であり、利用量の拡大には特性改善を必要とする。キッシュグラファイトは製鋼工程で形成されるため、内部に鉄（Fe および Fe_3C ）を多く含むため、これを基板とした気相成長法で容易にカーボンナノファイバ（CNF）が生成することがわかった。ただし、その生成量にばらつきがあり、生成量は十分とはいえない。また、生成する CNF の寸法・形状も不均一なことは否めない。そこで、溶鉄の冷却条件を調整することにより、(1) キッシュグラファイトの生成量、(2) CNF の生成量、の改善を目指した。その結果、(1)、(2)のいずれも従来の2倍以上の収率を挙げることに成功した。

(d) 「電子材料・エネルギー機能材料」

■「すずメッキ上に発生するウイスキー」

研究体制：先端機能材料領域、九州大学大学院総合理工学研究院、九州大学 熊本大学工学部

研究経過：ヨーロッパが世界に先駆けて民生品からの鉛使用廃絶をめざしており、これに対応するために電子機器では鉛フリーのハンダおよびメッキへの置き換えが急ピッチで進められている。ハンダに関しては大方、Sn-Ag をベースにしたものが大勢を占める様相であるが、メッキについてはまだ混沌としており、すずメッキではウイスキー発生などの問題を解決できずにいる。本研究では、すずメッキでのウイスキー発生機構の解明を目指して、熱サイクル処理による微細構造変化を解析した。ただし、すず材料は、(1) きわめて柔らかい、(2) 再結晶温度が極めて低い、(3) 特定の元素の拡散がきわめて速い、などの特徴のため、試料調整および計測がきわめて難しく、解

析には高度な技術が必要である。ここでは、下記の(e)「微構造の定量的解析法の確立とナノテクへの応用」でも述べるように、集束イオンビーム装置の利用により、良質の実験試料を作製した。本研究の結果、大気中で熱サイクル実験を行った場合は、まず、すず粒界割れが発生し、その粒界の奥からウィスカーが成長することが確かめられた。また、再結晶すず粒の結晶方位が重要な発生機構であることが判明した。

(e)「微構造の定量的解析法の確立とナノテクへの応用」

■ ナノマテリアル開発のための超顕微解析支援

研究体制：先端機能材料領域、九州大学超高压電子顕微鏡室、九州大学大学院総合理工学研究院

研究経過：本研究は、文部科学省ナノテクノロジー支援プロジェクト「ナノマテリアル開発のための超顕微解析支援」超高压透過型電子顕微鏡を活用した解析支援（平成14～18年度）の一環として行っている。本プロジェクトは、九州大学超高压電子顕微鏡室および関連する施設とが、企業および他大学の研究者・技術者に対して透過型電子顕微鏡を主とする実験設備の利用、実験実施の協力、実験技術および解析技術の援助を行うことにより、研究開発の発展を促進するとともにデバイス解析技術の向上に資するものである。本領域では、産学連携センターに設置されている「集束イオンビーム装置(FIB)(日立製作所(株):FB-2000K)」にマイクロサンプリング機器を装着し、これまでは透過型電子顕微鏡用サンプルの作製が極めて困難であった試料についても詳細な微構造解析が可能になった。さらに、本支援プロジェクトにより導入された最新のデジタル電顕(FEI社製:Tecnai-G2-F20)の稼動と相俟って、ナノレベルでの組織解析や化学組成マッピングができるようになった。これらの技術を応用して、いくつもの新事実が明らかになった。以下に、得られた成果のいくつかを紹介する。

1. Fe-42%Ni インバー合金基板上的Snメッキ材では低温の熱サイクル処理により、メッキ表面に多数のヒゲ状結晶(ウィスカー)が発生する。このヒゲ状結晶の発生機構については不明なことが多く残っており、上記の「電子材料・エネルギー機能材料」での研究テーマの1つに挙げている。Sn内ではCuやNiの拡散係数がきわめて大きく再結晶温度も低いため、微細構造観察が極めて困難であるが、FIBと走査型電顕(SEM)の活用により、内部組織の3次元解析を可能にした。
2. FIBの活用によって多くの材料の試料調製が可能になってきたが、それでもなお、MgB₂やInNなどInを含有する材料については困難であった。今回、FIBとアルゴンイオンミル(Ar-Ion-Mill)の併用により良好な試料を作製する手順を確立した。その結果、InN/サファイア基板、InN/YSZ基板のTEM試料を作製することができるようになり、それぞれの成長膜の極性を決定することができた。これは、InNの成長過程および基板の効果を明らかにする重要な実験結果である。

⑧ 今後の研究計画

(a) III-族半導体薄膜結晶の成長機構と欠陥構造の制御

AlGaN 薄膜の良質化については、AlN テンプレートの改善により貫通転位密度の低減を試みる。これまでの研究成果により、テンプレート表面の清浄化がキーポイントになることが示唆されるので、成長前にエッチング状態を保持する条件を検討する。また、GaN-InN 材料ではとくに酸素の影響が大きいと予測されるので、酸素原子位置と酸素拡散機構の解明を図る。

(b) 相変化を利用した機能性材料の組織制御

キッシュグラファイトを基板として成長させた CNF の構造解析を行うとともに、機能性の検索を行う。

これは、新規機能性材料として応用できる可能性を持っている。

(c) 異相界面を有する機能材料

引き続いて、共同研究を進める。とくに異相界面構造では、亀裂発生と伝播のメカニズムをあきらかにする。これは、熱サイクルによる耐疲労強度の向上に資する。

(d) 電子材料・エネルギー機能材料

引き続き、すずメッキでのウイスキーに関する研究を行う。これまでの研究によりメッキ表面の酸化物層が重要な働きをしている可能性が示唆された。本年度は、大気中でウイスキー発生処理を施したすずメッキ試料の表面酸化物層の状態を電子線エネルギー損失分光 (EELS) により解析を行う。

(e) 微構造の定量的解析法の確立とナノテクへの応用

文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクト「超高压透過型電子顕微鏡を活用した解析支援」を引き続き進行させる。とくに、FIB による試料作製において、ビームによる損傷層の除去方法の確立を図る。今回は、すず酸化膜層や InN(0) などの試料を取り扱うため、とくにこの技術が重要になる。

平成 16 年度には 1MV 透過型電子顕微鏡の新規導入が認められ、平成 17 年度にはオメガ型の電子分光器が設置される。これに伴い、超高压電顕用イメージングプレートおよび CCD カメラの開発、テレプレゼンスへの対応、広い試料室を活用した試料ホルダーの開発、など、次世代超高压電子顕微鏡の構築を図る。

5.2.3 環境・新エネルギー領域（三浦則雄教授）

① 目的

本領域においては、産学連携プロジェクトチームを組織することにより、「環境・エネルギー産業」に関する技術シーズの創出、およびそれに基づく新産業創生を行うことを目的としている。具体的には、環境保全、環境計測、環境浄化、さらに新エネルギー開発、省エネルギー技術などに関連した高性能で実用性の高い最先端デバイス、装置、プロセスの設計・開発、および従来になかった新規な機能性材料の探索・創製といった「エナコロジー社会」の実現に貢献できる先端的、創造的プロジェクト研究を企画、推進している。

② プロジェクト研究（概要については後述）

- (a) 自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発
- (b) 異種接合ナノ界面の特異ガス認識機能を用いた高性能センシングデバイスの構築
- (c) ナノ構造物質を電極材料として用いた高性能電気化学キャパシタの開発
- (d) 爆薬類の超高感度検出用光学式免疫センサの開発

③ 外部資金導入実績（平成16年度）

<プロジェクト>

- 文部科学省 科学技術振興調整費
プログラム名：産学官共同研究の効果的な推進
研究課題名：「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」
研究代表者：三浦則雄
研究組織：九州大学、(株)リケン
研究期間：平成15～17年度
- 科学技術振興機構
研究領域：エネルギーの高度利用に向けたナノ構造材料・システムの創製
研究課題名：「ナノ構造単位材料から構成される電力貯蔵デバイスの構築」
研究代表者：山木準一（九州大学）
研究組織：九州大学（先導研、産学連携センター）、山口大
研究期間：平成14～19年度
- 科学技術振興機構
研究領域：人道的観点からの対人地雷の探知・除去活動を支援するセンシング技術、アクセス・制御技術の研究開発
研究課題名：「爆薬分子を超高感度で認識するバイオセンサの開発」
研究代表者：都甲 潔（九州大学）
研究組織：九州大学（システム情報科学研究院、工学研究院、農学研究院、産学連携センター）、企業3社
研究期間：平成14～16年度

<科学研究費>

- 特定領域研究 (2) (課題番号 : 16079208)
研究代表者 : 三浦則雄
課題名 : 「異種接合ナノ界面の特異ガス認識機能を用いた高性能センシングデバイスの構築」
研究期間 : 平成 16 ～ 20 年度
- 特別研究員奨励費 (課題番号 : 15003086)
研究代表者 : 三浦則雄
課題名 : 「ナノ組織化されたバイオ分子を用いた超高感度光学式免疫センサの開発」
研究期間 : 平成 15 ～ 16 年度

<受託研究>

- 委託者 : 独立行政法人国立環境研究所
研究題目 : 「固体素子型 NO_x センサの研究」

<民間との共同研究>

- 研究題目 : 「省電力型ガスセンサの研究」
民間機関 : 北陸電気工業 (株)
- 研究題目 : 「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」
民間機関 : (株)リケン

<奨学寄付金>

- 受入数 : 2 件 (平成 16 年度)

④ 研究業績 (平成 16 年度)

- (a) 論文発表等 : 計 32 件
 - 原著論文 : 21 件
 - 著書、総説 : 1 件
 - 国際会議プロシーディング等 : 9 件
 - その他 : 1 件
- (b) 学会発表 : 計 38 件
 - 国内学会 : 23 件
 - 国際学会 : 15 件
- (c) 特許等 :
 - 国内特許出願数 : 4 件
 - 国際特許出願数 : 1 件
 - 公開特許公報 : 4 件
 - 特許登録 : 2 件
- (d) 論文リスト (平成 16 年度発表の 10 件以内)
 - Indium Tin Oxide/Carbon Composite Electrode Material for Electrochemical Supercapacitors
N. Miura, S. Oonishi, K.R. Prasad
Electrochemical and Solid-State Letters 7 (8), pp. A247-A249 (2004) .
 - Mixed-Potential-Type NO_x Sensor Based on YSZ and Zinc Oxide Sensing Electrode

-
- N. Miura, K. Akisada, J. Wang, S. Zhuiykov, T. Ono
 Ionics, 10, pp.1-9 (2004) .
- Highly Sensitive Surface Plasmon Resonance Immunosensor for Parts-Per-Trillion Level Detection of 2,4,6-Trinitrophenol
 D.R. Shankaran, K.V. Gobi, K. Matsumoto, T. Imato, K. Toko, N. Miura
 Sensors and Actuators B, 100, pp.450-454 (2004) .
 - Electrochemical Deposition of Nanostructured Indium Oxide : High-Performance Electrode Material for Redox Supercapacitors
 K.R. Prasad, K. Koga, N. Miura
 Chemistry of Materials, 16, pp.1845-1847 (2004) .
 - Continuous Flow Immunosensor for Highly Selective and Real-Time Detection of Sub-ppb Levels of 2-Hydroxybiphenyl by Using Surface Plasmon Resonance Imaging
 K.V. Gobi, H. Tanaka, Y. Shoyama, N. Miura
 Biosensors and Bioelectronics, 20, pp.350-357 (2004) .
 - Potentiodynamically Deposited Nanostructured Manganese Dioxide as Electrode Material for Electrochemical Redox Supercapacitors
 K.R. Prasad, N. Miura
 Journal of Power Sources, 135, pp.354-360 (2004) .
 - Impedancemetric Sensor Based on YSZ and In₂O₃ for Detection of Low Concentrations of Water Vapor at High Temperature
 M. Nakatou, N. Miura
 Electrochemistry Communications, 6, pp.995-998 (2004) .
 - Development of NO_x Sensing Devices Based on YSZ and Oxide Electrode Aiming for Monitoring Car Exhausts
 N. Miura, M. Nakatou, S. Zhuiykov
 Ceramics International, 30, pp.1135-1139 (2004) .
 - Electrochemically Deposited Nanowhiskers of Nickel Oxide as a High-Power Pseudocapacitive Electrode
 K.R. Prasad, N. Miura
 Applied Physics Letters, 85(18), pp.4199-4201 (2004) .
 - Improvement of Sensing Performances of Zirconia-Based Total NO_x Sensor by Attachment of Oxidation-Catalyst Electrode
 T. Ono, M. Hasei, A. Kunimoto, N. Miura
 Solid State Ionics, 175, pp.503-506 (2004) .

⑤ 学会活動等実績（平成16年度）

- 電気化学会化学センサ研究会役員（庶務幹事、事務局）
 - 第10回化学センサ国際会議（10-IMCS）総務委員長（事務局）、組織委員
 - 電気化学会評議員
 - 電気化学会九州支部幹事常議員
 - 固体イオニクス学会役員
 - 国際学術専門誌“IONICS”, Coeditor
-

⑥ 研究員等受け入れ実績（平成16年度）

- 氏名(国籍)：Kauveri GOBI（インド）
受入れ身分：日本学術振興会外国人特別研究員
研究テーマ：「ナノ組織化されたバイオ分子を用いた超高感度光学式免疫センサの開発」
受入れ期間：平成16年4月～平成17年3月
- 氏名(国籍)：Dhesingh RAVI Shankaran（インド）
受入れ身分：VBL非常勤研究員(ポスドク)
研究テーマ：「爆薬類検出用高感度バイオセンサの研究」
受入れ期間：平成16年4月～平成17年3月
- 氏名(国籍)：Kalakodimi Rajendra PRASAD（インド）
受入れ身分：訪問研究員(JST博士研究員)
研究テーマ：「高性能電気化学キャパシタ用電極材料の開発」
受入れ期間：平成16年4月～平成16年7月
- 氏名(国籍)：ELUMALAI Perumal（インド）
受入れ身分：学術研究員（ポスドク）
研究テーマ：「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」
受入れ期間：平成16年4月～平成17年3月
- 氏名(国籍)：寺田 大将（日本）
受入れ身分：学術研究員（ポスドク）
研究テーマ：「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」
受入れ期間：平成16年4月～平成17年3月
- 氏名(国籍)：Jian WANG（中国）
受入れ身分：学術研究員
研究テーマ：「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」
受入れ期間：平成16年4月～平成17年3月
- 氏名(国籍)：竹林 優（日本）
受入れ身分：共同研究員
研究テーマ：「省電力型ガスセンサ素子の研究」
受入れ期間：平成16年4月～平成17年3月
- 氏名(国籍)：Lizhen FAN（中国）
受入れ身分：訪問研究員(JST博士研究員)
研究テーマ：「高性能電気化学キャパシタ用電極材料の研究」
受入れ期間：平成16年7月～平成17年3月
- 氏名(国籍)：Sagar MITRA（インド）
受入れ身分：訪問研究員(JST博士研究員)
研究テーマ：「表面プラズモン共鳴(SPR)センサを用いた爆薬類の超高感度検出」
受入れ期間：平成16年6月～平成16年7月
- 氏名(国籍)：Vinay GUPTA（インド）
受入れ身分：訪問研究員(JST博士研究員)

研究テーマ：「ナノ構造電極材料を用いた高性能電気化学キャパシタの開発」

受入れ期間：平成 16 年 9 月～平成 17 年 3 月

▪ 氏名(国籍)：Vladimir V. PLACHNITSA (ロシア)

受入れ身分：学術研究員

研究テーマ：「異種接合ナノ界面の特異ガス認識機能を用いた高性能センシング
デバイスの構築」

受入れ期間：平成 16 年 10 月～平成 17 年 3 月

▪ 氏名(国籍)：Serge ZHUIYKOV (オーストラリア)

受入れ身分：訪問教授

研究テーマ：「排ガス監視用ガスセンサの研究」

受入れ期間：平成 16 年 10 月～平成 16 年 11 月

▪ 氏名(国籍)：Chong Ook PARK (韓国)

受入れ身分：日本学術振興会外国人招聘研究者(短期、教授)

研究テーマ：「電気化学式 CO_2 , NO_x センサの長期安定性改善のための界面状態
に関する研究」

受入れ期間：平成 16 年 7 月～平成 16 年 8 月

▪ 氏名(国籍)：Judith Cerda BELMONTE (スペイン)

受入れ身分：日本学術振興会来日研究者

研究テーマ：「環境制御用ガスセンサ」

受入れ期間：平成 16 年 6 月～平成 16 年 8 月

▪ 氏名(国籍)：Juliane GABEL (ドイツ)

受入れ身分：日本学術振興会サマープログラム外国人研究者

研究テーマ：「酸化物ブロンズの構造決定」

受入れ期間：平成 16 年 7 月～平成 16 年 8 月

▪ 氏名(国籍)：Ulrich GUTH (ドイツ)

受入れ身分：訪問教授

研究テーマ：「異種接合ナノ界面の特異ガス認識機能を用いた高性能センシング
デバイスの構築」

受入れ期間：平成 17 年 3 月

⑦ 代表的プロジェクト研究内容

(a) 「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」

研究体制：KASTEC 環境・新エネルギー領域、(株)リケン

研究経過：平成 15 年度に採択された文部科学省科学技術振興調整費、プログラム名(産学官共同研究の効果的な推進)の「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」プロジェクト(研究代表者：九州大学 三浦則雄、開発期間：3 年間)を 2 年度として実施した。

自動車用排ガス除去触媒を適正に作動させて、排ガス浄化率と燃費を改善するためには、触媒の前後に 10ppm 程度の NO_x 濃度の検知ができる高性能排ガスセンサが必要である。本プロジェクトでは、大学におけるセンサ工学の専門的研究者と先端的センサ開発技術を有する企業とが、これまでの共同研究をベースにして、より緊密な

共同研究体制を構築することにより、実用化にかなり近い段階にある独創的な自動車触媒性能監視用排ガスセンサについての基礎的事項の検討と開発研究を連携して行うことにより、この排ガスセンサの早期実用化を目指している。

本年度は以下に示すような成果を得た。

(1) 酸化物電極材料の検討・評価：センサ応答特性のさらなる改善のために、種々の酸化物系についての検討を行った結果、酸化ニッケルなどの単独酸化物をベースとした材料やスピネル系複合酸化物材料が、かなりの高温においても優れた検知特性を示すことがわかった。(2) センサ特性発現、劣化機構の解明：新規材料設計や長期安定性確立のために、特性発現・劣化機構の解明を、電極層の微細構造の観察、ガス吸脱着挙動の測定、触媒活性の評価といった基礎的な面から検討した。特に、電極材料の微細構造を変化することにより、気相触媒活性や電気化学的活性がコントロールでき、そのためにガス感度や応答回復特性も制御できることがわかった。(3) 新規検知法による特性改善法の検討：トータル NO_x や炭化水素検知の可能性のある新たな複素インピーダンス検出法について、電極材料の最適化やガス応答特性の評価を行い、高濃度の水蒸気や二酸化炭素共存下でもトータル NO_x の検出が可能なることを見出した。

(b) 「異種接合ナノ界面の特異ガス認識機能を用いた高性能センシングデバイスの構築」

研究体制：KASTEC 環境・新エネルギー領域

研究経過：平成 16 年度に採択された文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究 (2) (計画研究) (研究代表者：九州大学 三浦則雄、研究期間：5 年間) を、初年度として実施した。本特定領域研究の全体のプロジェクト名は「高温ナノイオニクスを基盤とするヘテロ界面制御フロンティア」(総括研究代表者：東京大学 山口 周) である。

酸化物系イオン導電体/酸化物半導体などの異種接合界面を形成すれば、種々のガス種に対して複素インピーダンスや混成電位などを検出することにより、特異的な応答が達成でき、センサ特性の飛躍的な改善や作動条件の大幅な拡大ができる可能性がある。本研究では、検知極材料の特性評価・制御を行うことにより、特異ガス検知機能の発現メカニズムを明確にし、これまでにない優れた特異検知機能を発揮する高度ガスセンシングデバイスを設計・構築することを目的として研究を進め、本年度は以下のような成果を得た。

新規複素インピーダンス応答型センサとして NO_x センサを提案・検討し、数十 ppm のトータル NO_x 濃度の高感度測定が可能なることを見出した。本センサの特異検知特性発現メカニズムを、複素インピーダンス解析や気相触媒活性測定などの結果より検討したところ、電極界面付近で NO_x 組成は導入ガス組成にかかわらず常に平衡に達しており、しかも異種接合ナノ界面における電極反応抵抗が NO_x の存在により大きく減少するために、NO と NO₂ に対して等しい感度が発現することが分かった。また、このタイプのセンサを用いて、高温での水蒸気の検出について検討したところ、900 °C という高温においても約 70ppm から約 30,000ppm の濃度範囲で良好な水蒸気応答特性を示すことがわかった。本センサの特異検知特性発現機構を検討したところ、異種接合ナノ界面における電極反応速度が被検ガスの存在により高温においても改善されるために、ガス感度が発現するものと考えられる。

(c)「ナノ構造物質を電極材料として用いた高性能電気化学キャパシタの開発」

研究体制：KASTEC 環境・新エネルギー領域、先導物質化学研究所先端素子材料部門、先導物質化学研究所融合材料部門、山口大学工学部応用化学科

研究経過：平成 14 年度から開始している科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業（CREST）、研究領域「エネルギーの高度利用に向けたナノ構造材料・システムの創製」の「ナノ構造単位材料から構成される電力貯蔵デバイスの構築」（研究代表者：先導研 山木準一教授、研究期間：5 年間）なるプロジェクトを研究分担して、電気化学キャパシタ用電極材料の研究を推進している。

電気化学キャパシタは、電力、自動車業界などを筆頭にさまざまな分野において、環境に優しい有望なエネルギー変換・貯蔵デバイスとして注目されている。最近、レドックスキャパシタ用電極材料として、高価な RuO_2 に代わる安価な材料としての MnO_2 などが検討されている。ただし、その重量あたりの比容量はまだ十分ではなく、実用化にはさらなる高容量化が望まれる。酸化物薄膜電極の作製法としては、種々の化学的、電気化学的方法があるが、本研究では特に電位走査電析法を取り上げ、最適電析条件や得られた薄膜のキャパシタ特性について検討を加え、本年度は以下のような成果を得た。

カーボンを全く用いずに、 In_2O_3 や MnO_2 のような安価な酸化物薄膜を電位走査電析法により作製した。まず、これまでに全く報告例のない In_2O_3 電極については、サイクリックボルタモグラム（CV）の形状は矩形に比較的近かった。CV 測定時の電位走査速度が、車載用として要求される 500mV/s という高速においても、この電極は 90F/g という比較的良好な比容量を示すことを初めて見出した。この場合、ポーラスな構造を有する In_2O_3 薄膜が形成されていた。一方、 MnO_2 については、高速の電位走査速度で電析した時には、ナノ構造を示すアモルファス MnO_2 薄膜の形成が見られた。この電極では、これまでの報告値よりもかなり高いキャパシタ特性を示すことがわかった。

(d)「爆薬類の超高感度検出用光学式免疫センサの開発」

研究体制：KASTEC 環境・新エネルギー領域、システム情報科学研究院、大学院農学研究院、大学院工学研究院、九州計測器（株）、インテリジェントセンサーテクノロジー（株）ほか

研究経過：平成 14 年度から開始している科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業（CREST）、研究領域「人道的観点からの対人地雷の探知・除去活動を支援するセンシング技術、アクセス・制御技術の研究開発」の「爆薬分子を超高感度で認識するバイオセンサの開発」（研究代表者：システム情報科学研究院 都甲潔教授、研究期間：3 年間）なるプロジェクトを研究分担して推進し、最終年度は以下のような成果を得た。

地雷に使われている代表的な爆薬類であるトリニトロトルエン（TNT）を検知対象物質として、表面プラズモン共鳴（SPR）センサを用いた間接競合法による高感度検出を試みた。間接競合法は、我々が以前に初めてバイオセンサに適用した方法であり、コンジュゲート抗原を金薄膜上に固定するため、直接測定法よりもはるかに高感度で低分子量の抗原を検出できる。しかも、同位体や蛍光などによる増感を一切必要としない簡便

な手法である。OVA や BSA などのタンパク質とのコンジュゲート（複合体抗原）を金薄膜上に固定化した SPR センサチップを用い、モノクローナルまたはポリクローナル抗体に対する複合体抗原と抗原分子（TNT）との間接競合反応により、約 1ppt (1×10^{-12}) までの極微量のトリニトロトルエンを、応答時間が約 2 分という従来にない短時間で超高感度かつ高選択的に検出できた。また、この免疫センサ素子は、複合体抗原と抗体との解離にペプシン溶液を用いれば、10 回以上再生して使用することが可能であった。

⑧ 今後の研究計画

- ① 文部科学省の「自動車触媒の性能監視用排ガスセンサの開発」については、最終年度となる平成 17 年度も㈱リケンとの産学連携をさらに推し進めることにより、高性能排ガスセンサの早期実用化を目指す予定である。
- ② 科学研究費（特定領域研究）「異種接合ナノ界面の特異ガス認識機能を用いた高性能センシングデバイスの構築」については、平成 17 年度以降も、特異的ガス認識機能を効果的に発現させるために、異種接合界面をナノレベルで設計・制御して形成させることを検討する。さらに、特異機能発現の因子の一つになっていると考えられる検知極材料の特性評価・制御を行うことにより、特異ガス検知機能の発現メカニズムを明確にし、これまでにない優れた特異性能を発揮する高性能ガスセンシングデバイスの設計・構築を目指す。
- ③ 科学技術振興機構の「ナノ構造単位材料から構成される電力貯蔵デバイスの構築」に関するプロジェクト（CREST）については、平成 17 年度以降も引き続いて電気化学スーパーキャパシタ用の高性能電極材料について、特に酸化物系やカーボンナノチューブ複合体の開発を進める予定である。
- ④ 文部科学省科学技術振興調整費「戦略的研究拠点育成プログラム（スーパー COE）」の一つである九州大学の「ユーザーサイエンス機構（USI）」（研究代表者：梶山千里総長）が平成 16 年度から開始されている。当領域は、「プロジェクト部門」の「食と感性」実践プロジェクト（プロジェクトリーダー：都甲潔教授）の中で、「着香検知センサの開発」を平成 17 年度から分担する予定である。
- ⑤ 平成 15 年度より推進している国立環境研究所からの受託研究である「固体素子型 NOx センサの研究」については、ベース材料として安定化ジルコニア固体電解質を用いることにより、ppb レベルの低濃度 NOx の検知が可能な環境計測用高感度ガスセンサの開発を進めてきた。今後も引き続き、素子構造の設計、検知極材料の探索、応答メカニズムの検討などを進める予定である。
- ⑥ 平成 13 年度より推進している北陸電気工業（株）との共同研究（B）「省電力型ガスセンサ素子の研究」では、省電力型高性能マイクロガスセンサの実用化を目指している。平成 16 年度には、センサ素子マイクロ化のための材料やデザインの検討を行った。平成 17 年度は、より実用素子に近づけるための開発研究を行う予定である。

5.2.4 電離気体・レーザー領域（間瀬 淳教授）

① 目的

プラズマの物理と工学的応用、ミリ波デバイスおよびシステムの研究とその応用に
関連した研究・教育を行う。特に、民間企業や他大学、および国立研究所などの公的
研究機関との共同研究を含めたプロジェクト研究を推進していくことを目的としている。

② プロジェクト研究（内容については後述）

- (a) 磁場核融合プラズマ、特に核燃焼プラズマのための先進的計測法の開発
- (b) プロセス用プラズマの生成と制御
- (c) マイクロ波・ミリ波デバイスおよびシステムの開発と産業応用

③ 外部資金導入実績

<プロジェクト>

- 文部科学省 科学技術振興調整費
プログラム名：産学官共同研究の効果的な推進
課題名：「新方式マイクロ波プロフィールメータの開発」
研究代表者：間瀬 淳
組織：九州大学、筑波大学、九州日立マクセル(株)、(株)松島機械研究所
研究期間：平成 14 ～ 16 年度
 - 経済産業省
プログラム名：地域新規産業創造技術開発事業
課題名：「高性能異物検出装置の開発」
研究代表者：園川真隆
組織：九州大学、三重津田電器産業(株)
研究期間：平成 15 ～ 16 年度
 - 核融合科学研究所
プログラム名：一般共同研究
課題名：「LHD への超短パルス反射計の適用」
研究代表者：間瀬 淳
組織：九州大学、東京大学、筑波大学、核融合科学研究所
研究期間：平成 16 年度～
プログラム名：双方向計画共同研究
課題名：「プラズマの可視化技術の開発と電位閉じ込め機構の研究」
研究代表者：間瀬 淳
組織：九州大学、筑波大学、東北大学、核融合科学研究所
研究期間：平成 16 年度～
 - 日本学術振興会
プログラム名：日米科学技術協力事業（核融合分野）
課題名：「先端的ミリ波プラズマ診断法の開発」
-

研究代表者：間瀬 淳

組織：九州大学、東北大学、東京大学、筑波大学、核融合科学研究所
カリフォルニア大学デービス校、プリンストン大学

研究期間：平成 11 年度～

プログラム名：テキサトル共同研究

課題名：「マイクロ波画像計測」

研究代表者：間瀬 淳

組織：九州大学、FOM プラズマ物理研究所（オランダ）、ユーリッヒ総合研究
機構（ドイツ）

研究期間：平成 13 年度～

<科学研究費>

- 特定領域研究 (2) (課題番号 16082205)

研究代表者：間瀬 淳

課題名：「核燃焼プラズマのための先進的ミリ波診断法の開発」

研究期間：平成 16 ～ 19 年度

- 基盤研究 (A) (課題番号 14208055)

研究代表者：長山好夫

課題名：LHD におけるマイクロ波イメージング計測

研究期間：平成 14 ～ 16 年度

<受託研究>

- 委託者：九州日立マクセル㈱

研究題目：「マイクロ波・ミリ波デバイスおよびシステムの開発と応用」

<民間との共同研究>

- 研究題目：「新方式マイクロ波プロフィールメータの開発」

民間機関：九州日立マクセル㈱

- 研究題目：「新方式マイクロ波プロフィールメータの開発」

民間機関：㈱松島機械研究所

- 研究題目：「高性能非破壊検査装置の開発」

民間機関：三重津田電器産業㈱

- 研究題目：「マイクロ波を用いた効率的な乾燥技術に関する研究」

民間機関：九州電力㈱総合研究所

<奨学寄付金>

- 受入数：1 件（平成 16 年度）

④ 研究業績（平成 16 年度）

(a) 論文発表等：計 18 件

- 原著論文：11 件
- 著書、総説：1 件
- 国際会議プロシーディング等：6 件

(b) 学会発表：計 34 件

-
- 国内学会 : 19 件
 - 国際学会 : 15 件
- (c) 論文リスト (平成 16 年度発表の 10 件以内)
- Reflectionless Transmission of Electromagnetic Wave in One-Dimensional Multi-Layer Plasmas
H. Hojo, K. Akimoto, and A. Mase
J. Plasma Fusion Res., Vol. 80, No. 4, pp. 177–178 (2004) .
 - A New Method of Electron Density Measurement by Fabry-Perot Interferometer
H. Hojo and A. Mase
J. Plasma Fusion Res., Vol. 80, No. 5, pp. 358–359 (2004) .
 - Reconstruction of Wavenumber Spectra of Plasma Turbulence in Microwave Reflectometry
L. G. Bruskin, N. Oyama, A. Mase, K. Shinohara, and Y. Miura
Plasma Phys. Control. Fusion, Vol. 46, pp. 1313–1330 (2004) .
 - Surface Wave Analysis with Plasma Resonance
H. Hojo, A. Shimamura, N. Uchida, Y. Yasaka, and A. Mase
J. Plasma Fusion Res., Vol. 80, No. 9, pp. 719–720 (2004) .
 - Effects of Asymmetry and Target Location on Microwave Imaging Reflectometry
M. Ignatenko, A. Mase, L. G. Bruskin, Y. Kogi, and H. Hojo
Rev. Sci. Instrum., Vol. 75, No. 10, pp. 3810–3812 (2004) .
 - Full-Wave Simulations on Ultrashort-Pulse Reflectometry for Helical Plasmas
H. Hojo, A. Fukuchi, A. Itakura, and A. Mase
Rev. Sci. Instrum., Vol. 75, No. 10, pp. 3813–3815 (2004) .
 - Ultrashort-Pulse Reflectometer on LHD
Y. Kogi, K. Uchida, A. Mase, L. Bruskin, M. Ignatenko, T. Tokuzawa, Y. Nagayama, and K. Kawahata
Rev. Sci. Instrum., Vol. 75, No. 10, pp. 3837–3839 (2004) .
 - Numerical Study of Microwave Imaging Reflectometer for a Tandem Mirror Device
M. Ignatenko, A. Mase, L. Bruskin, Y. Kogi, and H. Hojo
Trans. Fusion Sci. Tech. Vol. 47, No. 1T, pp. 183–186 (2005) .
 - Computer Simulation of Ultrashort-Pulse Reflectometry in Helical Plasmas
A. Fukuchi, H. Hojo, A. Itakura, and A. Mase
J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol. 6, pp. 745–747 (2004) .
 - Theoretical modeling and Applications of Microwave Reflectometry to Plasma Turbulence Study
L. Bruskin, N. Oyama, A. Mase, K. Shinohara, and Y. Miura
J. Plasma Fusion Res. SERIES, Vol. 6, pp. 318–321 (2004) .
-

⑤ 学会活動等実績（平成 16 年度）

- 福岡県試験研究機関改革外部アドバイザー
- 地域新生コンソーシアム研究開発事業研究推進委員会アドバイザー
- 教科書「プラズマ診断の基礎と応用」責任編集

⑥ 研究員等受け入れ実績（平成 16 年度）

- 氏名（国籍）：Neville C. Luhmann, Jr.（アメリカ合衆国）
受入れ身分：訪問教授
研究テーマ：「先端的ミリ波計測システムに関する国際研究拠点形成」「大学間協力協定準備」
受入れ身分：平成 16 年 8 月
- 氏名（国籍）：Leonid G. Bruskin（ニュージーランド）
受入れ身分：科学技術振興研究員
研究テーマ：「新方式マイクロ波プロフィールメータの開発」
受入れ期間：平成 15 年 7 月～平成 17 年 3 月
- 氏名（国籍）：近木祐一郎（日本）
受入れ身分：科学技術振興研究員
研究テーマ：「新方式マイクロ波プロフィールメータの開発」
受入れ期間：平成 16 年 4 月～平成 17 年 3 月
- 氏名（国籍）：松隈正明（日本）
受入れ身分：受託研究員
研究テーマ：「ミリ波平面アンテナアレイの開発」
受入れ期間：平成 15 年 5 月～平成 17 年 3 月

⑦ 代表的プロジェクト研究内容

(a) 磁場核融合プラズマのための先進的計測法の開発

研究体制：九州大学、核融合科学研究所、筑波大学、東京大学、東北大学、日本原子力研究所、カリフォルニア大学デービス校、プリンストン大学、オランダ基礎物理研究所
研究経過：核融合科学研究所 LHD 計画共同研究、一般共同研究、および双方向共同研究を基盤として、また、日本学術振興会日米科学技術協力事業（核融合分野）、およびテキサス共同研究による研究者相互派遣により、磁場核融合実験における先進的ミリ波診断法の開発研究を国際協力で行ってきた、平成 16 年度からは、科学研究費特定領域研究「プラズマ燃焼のための先進プラズマ計測」の中の計画研究「核燃焼プラズマのための先進的ミリ波診断法の開発」の一環としても本研究課題を進めている。

本年度は以下の成果が得られた。

(1) 磁場核融合実験の主要計測法である反射計および電子サイクロトロン放射計を画像計測（イメージング）システムとして発展させることを目標としている。そのためのイメージングアンテナとして直交形デュアルダイポールアンテナ（ダブルバランストミキサアンテナ：DBMA）を設計・製作した。信号波と局部発振波が基板の表裏か

ら異なる偏波で照射されるため、中間周波数（IF）信号との分離が容易で、SN 比の改善が期待される。周波数 70GHz に対する設計を行い、九州日立マクセル(株)が保有する超精密加工技術（Electro Fine Forming: EF2）により製作した。

(2) 従来、プラズマ診断に使用するヘテロダイン検出器においては、中間周波数（IF）システムは同軸回路で構成されており、価格や大きさの問題からチャンネルに制限されてきた。この点を解決するため、マイクロ波集積回路技術を用いた IF システムの多チャンネル化を行った。信号成分と局部発振機出力をミックスすることによりえられる IF 出力は、アンプ、パワーデバイダー、フィルター、ディテクターを通して直流成分に変換されるが、これらを一枚の基板上に形成して高信頼かつコンパクト化を図った。今年度は 10 チャンネルのシステムを一枚の基板で製作した。最終的には 8 × 10 チャンネルのシステムを構成することになっている。

(3) 磁場核融合実験では、プラズマの特徴的な周波数がマイクロ波・ミリ波領域に分布しているため計測に利用しているが、同様な周波数が加熱にも適用されている。加熱には大電力マイクロ波ないしミリ波を使用するため、この成分が計測システムに混入することを抑制することが必要不可欠である。そのため通常ノッチフィルターを利用することがなされている。今年度その目的のため、EF2 技術を利用し周波数 140GHz の準光学ノッチフィルターを製作した。パターンの最大寸法誤差 15 μm は従来のエッチング方式と比較して約 1 桁の改善となっている。リジエクション度は 140GHz で -32.5dB、角度依存性も良好な特性を示した。昨年 12 月よりテキサトル（TEXTOR）でのマイクロ波イメージング反射計に使用されている。

(4) 超高速ネットワーク（スーパー SINET）を用いた核融合科学研究所大型ヘリカル装置への遠隔実験参加システムの構築を行った。スーパー SINET は、先端的学術研究機関間の連携を強化して、日本の学術研究を飛躍的に発展・増進させることを目的とする、10 ギガビットの光通信技術を用いる世界最高速の研究用のインターネットで、文部科学省国立情報学研究所が平成 14 年始めから運用しているものである。平成 14 年度、核融合科学研究所と九州大学産学連携センター当プロジェクトの間でこのスーパー SINET を利用した遠隔実験参加システムの整備が認められ、平成 15 年 3 月 31 日にその設置が行われた。平成 16 年度は、核融合科学研究所大型ヘリカル装置（LHD）装置に設置している超短パルス反射計に対して、送受信アンテナ角度遠隔制御システムを新たに設置し、SN 比の改良を進めた。ハードウェアを含めた全システム、および信号収集をスーパー SINET により九州大学から遠隔制御可能とした。

(5) 計測システムの開発と並行して、マイクロ波イメージング反射計の計算機シミュレーション研究を進めている。特筆すべきこととして、電磁波伝播の式すなわちマクスウェル方程式において、真空中の解析解、薄いプラズマ領域での WKB 近似解、カットオフ層近傍での有限差分時間領域法による数値解を求め、それらを組み合わせることにより計算時間を大幅に短縮する手法を提案した。その結果、波数の波数が入射波数と比較して十分小さいか、揺動レベルが小さい（4% 以下）場合は従来型反射計でも波動を忠実に反映するが、波数が同程度になるか揺動レベルが大きくなるとイメージング反射計に優位性が現れることを実証した。

(b) プロセス用プラズマの生成と制御

研究体制：九州大学、東京大学、(株)日立機械研究所、九州日立マクセル(株)

研究経過：半導体デバイスの分野において、次世代のエッチングリアクタにはプラズマプロセスの利用が不可欠と考えられ、高密度かつ大口径（直径 300mm）で一様なプラズマの生成が望まれている。本研究では、電磁波を用いた非摂動プラズマ計測システムを適用することにより、プラズマの生成条件を左右するパラメータの空間的振舞いを調べるとともに、プロセス用プラズマ生成条件の最適化を図っていくことを目的としている。本年度は、ミリ波低損失アンテナ用基板として有望視されるテフロン基板の表面処理のため、原子線処理、グラフト重合処理と同時にプラズマ処理の利用を開始した。アンテナの形成には、基板に金属スパッタリングを行い、エッチングや EF2 処理によりパターンを実現する。テフロン基板の導体接着強度を向上させる目的でスパッタリングの前処理としてプラズマ処理を行っている。

(c) ミリ波デバイスおよびシステムの開発と応用

研究体制：九州大学、筑波大学、九州日立マクセル(株)、(株)松島機械研究所、三重津田電器産業(株)、九州電力(株)総合研究所、カリフォルニア大学デービス校

研究経過：本課題は平成 12 年度日本学術振興会と NEDO によるマッチングファンド方式産学連携事業に端を発しており、その後平成 14 年度から開始された文部科学省科学技術振興調整費・産学官共同研究の効果的な推進「新方式マイクロ波プロフィールメータの開発」に基づき研究を進めてきた。平成 16 年度の研究成果は以下の通りである。

(1) プロフィールメータのシステム設計と評価：

プロフィールメータの基本形であるマイクロ波レベル計の主要部（発振部、送受信部、検出部）にマイクロ波集積回路技術を適用し、これらを基板上形成し、システムのコンパクト化と低価格化を実現することができた。本装置は共同研究機関である(株)松島機械研究所により製品化されており、初期の目標を達成した。二次元プロフィールメータのためには、イメージングアレイ検出器の搭載と受信回路の多チャンネル化など残された課題があるが、今まで進めてきた結果を組み合わせることにより原理的には可能と考えている。

(2) 送受信部の設計・製作に関する研究：

直交型のデュアルダイポールアンテナ（DBMA）をもつ新しいイメージングアンテナを設計・製作し、周波数 70GHz での性能評価により、アンテナの指向性、変換損失、および RF-L0-IF 間の独立性など、イメージングアレイとしての有効性を実証した。一方、アクティブイメージング（イメージングレーダー）の実現のため、受信部の多チャンネル化は、システム全体のコンパクト化および低価格化には不可欠となる。本課題については、平成 16 年度より研究を開始しており、現時点では最適化が実現していない。現在も重点的に研究を進めており、早い時期に基板の決定と、多チャンネルシステムの構築が実現すると考えている。

(3) 電磁波伝播の計算機シミュレーション：

種々の媒質中の、二次元および三次元伝播特性計算機シミュレーションを様々な分野

へ適用した。例としては、食品中の異物検査、プラズマディスプレイパネルで代表されるマイクロプラズマに対する新計測法の提案などの新しい概念の提案などを行った。異物検査では、試料中の異物の有り無しを電磁波の散乱波信号データから求められる自己相関関数の特性の違いから判定する可能性について論じた。試料および異物を誘電体で置き換えて適当な誘電率を仮定する。試料の中身が均一である場合には問題ないが、不均一である場合にはどのような誘電率の空間分布を仮定すればよいのかが分からない。例えば、カップラーメンのような乾燥麺を試料とした場合、これに対してどのような誘電率の空間分布を仮定すればよいのかが分からず、現実性のあるシミュレーションモデルの構築が今後の課題である。後者では、ファブリー・ペロー干渉法を利用して、薄膜物質の誘電率や物性定数を精度良く計測することのできる手法を新たに考案した。本手法を用いて、シートプラズマの電子密度、半導体薄膜や金属フィルム中の伝導電子密度をファブリー・ペロー共鳴周波数の測定から精度良く測定できることが分かった。伝導電子密度が既知である金属フィルムの場合には、サブミクロン以下の金属フィルムの膜厚を測定することも可能である。また、共鳴周波数を二つ以上同時に計測することによって薄膜物質の物性定数を二つ以上同時に計測することも原理的には可能であることが分かった。

(4) 試作の実用化試験

i) ミリ波非破壊検査システムへの適用：現在物体内部を検査するシステムとして、透過性に優れた X 線を利用した装置が良く知られているが、エネルギーが高いため数ミリ程度以下の微小物体を見分けることがむしろ困難となっている。本研究では、60-90GHz 領域のミリ波を用い、物体からの透過波および散乱波を測定し解析することにより、物体内部を非接触・非破壊で評価する装置を開発した。被測定物としてグラニュー糖内に挿入した 1-10mm の金属異物を用いて、その検出を試みた。異物判定にはニューラルネットワークを使用した結果、異物の直径が 3-10mm の時は、ほぼ 100% 正しい判別を示す事が分かった。しかし異物が 1mm の時にはその認識率は下がった。また、訓練課題セットでは比較的正確を得ることができたが、テスト課題では誤差が目立った。これは、過学習によるものと考えられる。今後さらに異物の検出感度を上げるため、ニューラルネットワークにおける誤差を小さくすることに努める。誤差の一因である過学習の対策としては、適度な学習回数を設定する事が有用だと考えられる。またネットワークに渡すパラメータの選出も誤差減少には重要となる。本研究結果により、ミリ波の波長をさらに小さく（波長 2mm）する事により、1mm 以下の異物検出も可能となることが期待される。

ii) マイクロ波アクティブセンサによる生体情報計測：マイクロ波・ミリ波システム応用の一環として、生体情報計測への適用を検討した。まず、心臓動態の計測を目的として、反射計（レーダー）装置を構成し適用した結果、心臓近傍の筋肉及び周辺の皮膚での反射と思われる周期的な信号を計測することができた。本研究で用いた装置は位相変化を解析するもので、極めて高感度なシステムである。（入射波として周波数 15GHz を用い、位相分解が 0.003 フリンジとすれば空間分解は 30 μm 以下となる）。また、 μW レベル以下の微弱な入射電力で測定が可能であり、生体信号を骨格の上から、かつ障害物を隔てて計測することが期待される。遠隔でのモニターとしての

観点より、最近話題になっている無呼吸症候群の感知などにも応用できる。また、本研究で開発してきた集積化されたイメージングアレイ検出器と準光学結像系を組み合わせることにより、心臓動態を画像化する能動的なイメージング（撮像）装置として発展させて行くことが可能である。

⑧ 今後の研究計画

- ① 文部科学省科学研究費・特定領域研究「核燃焼プラズマのための先進的ミリ波診断法の開発」（課題番号：16082205、研究代表者：間瀬）が平成19年度まで行われることになっている。本研究では、反射計および電子サイクロトロン放射計測を中心としたミリ波診断法を高度化するとともに、開発された計測システムを、国内における既存の大型磁場閉じ込め装置（核融合科学研究所LHD、日本原子力研究所JT-60U）へ適用し、放射化の影響、強磁場中での動作などの試験も実施する。また、国際熱核融合実験炉（ITER）プラズマへの適用上の課題解決を図って行き、燃焼プラズマにおける揺動輸送解明を目的とした研究を推進して行く。
- ② 平成17年度より、産学連携戦略・次世代産業創出事業の一環として「マイクロ波アクティブセンサによる生体情報計測」（研究代表者：間瀬）が開始されることになっている。本研究では、生体情報（心拍、呼吸、音声、脳機能等）を非接触かつ遠隔で測定し、特に高年齢層を対象とした在宅での非侵襲診断法として、介護者の支援や介護予防にも適用して行くこと、生体反応を障害物越しに測定することにより、セキュリティ対策や災害救助などの分野でも実用化して行くことを目的としている。
- ③ ミリ波を利用した異物検査システムの研究開発は、(株)三重津田電器産業との共同研究として継続し、応用分野の拡大と最適な製品化を目指した研究を進めていく。
- ④ 平成16年度より開始された九州電力(株)総合研究所との共同研究「マイクロ波を用いた乾燥・殺菌技術とその応用に関する研究」では、特に誘電損失が大きく、マイクロ波加熱に最適とされている水分を多量に含んだ媒質について、その加熱蒸発による乾燥効果、内部加熱による殺菌効果の二点に着目し、これが有効とされている廃棄物処理、污泥処理等の分野に適用するべく実証実験を行っていく。