

東京都市大学
平成 2 3 年度 総合研究所 紀要

第 8 号

平成 2 4 年 5 月
東京都市大学・総合研究所

巻頭言

本研究所は、エネルギー環境科学研究センターおよびシリコンナノ科学研究センターを拠点として平成16年に武蔵工業大学総合研究所として、本学の特徴ある研究を推進し、併せて教育を充実する研究拠点として開設され、平成21年大学名称の変更により、東京都市大学総合研究所となった。本研究所では、大型のプロジェクト研究、提案公募型研究、企業との共同研究等が、一層の研究活動の活発化を目指して進められている。各プロジェクトは、定期的なセミナーによる成果発表や進捗状況の報告により情報交換や交流を行い、さらなる発展をめざし研究に取り組んでいる。

平成23年度においては、平成20年度に開始した「生活密着型次世代燃料電池の技術開発と解析手法の確立によるシステムの最適化」と「生体インターフェース用ナノカーボン／量子デバイス複合型バイオチップの開発」、および平成21年度より開始した「次世代LSI創出に向けた新機能シリコン系ナノ電子・光・スピンドバイスの創出」に加えて、23年度より始まった「地球規模問題に対する製品環境政策の国際的推進を支援するライフサイクル経済評価手法の開発」を大型プロジェクト研究として推進した。

本年度が最終年となる「燃料電池の技術開発と解析手法の確立」に関しては、固体高分子形燃料電池の作動温度の向上、水管理が不要な電解質の作成、およびチタニア被覆カーボンナノチューブを担体とした白金電極触媒の作製による特性向上を、固体酸化物形燃料電池(SOFC)においては、燃料極支持型セルおよびランタンガレート系電解質の改良により、500℃程度の中温域での特性向上を図った。

「ナノカーボン／量子デバイス複合型バイオチップの開発」では、熱傷をしたラットの患部にプラズマ照射を行い治癒促進が可能なこと確認するとともに、バイオチップのフォトマスクの設計・作製、プラズマ CVD 法による CNT の直接成長・選択的位置制御の実験、評価を行った。さらに体内の生体情報を体外に無線伝送する手法の開発を進めた。

「シリコン系ナノ電子・光・スピンドバイスの創出」では、緩和SiGe 擬似基板上に歪Geチャネル構造を作製し、世界最高の正孔移動度(3,100cm²/Vs)を達成した。さらにGe量子ドットベースの室温発光可能なシリコン系EL発光デバイスの開発(4/25プレス発表)を行うとともに、材料、電子デバイス、光デバイス関係のシミュレーション解析を行っている。

平成23年度には開始した、「地球規模問題に対するライフサイクル経済評価手法の開発」では、地球温暖化を取り上げて、①環境負荷物質の排出による気温変化、②気温変化による健康影響リスクの変化、③健康影響の指標化に分け、温室効果ガスが単位量発生した場合の人間健康の潜在的な被害量を世界10地域にわけて算定するためのモデルを開発した。

平成19年度より導入された重点推進研究は、昨年度「地震リスクの活用とマネジメント」のテーマが終了し、本年度より新たに指定研究等としてさらなる都市大における研究の活性化を目指して進めていく予定である。

総合研究所においては、さらに水素エネルギー研究センター、都市の安全・安心研究室、カーボン材料解析研究室、粉末冶金材料開発研究室、水素自動車実用化研究室、及びインキュベーションラボラトリーであるデジタルアーカイヴ研究室において、活発な研究が行われている。詳細は、各研究報告を参照して頂きたい。

本紀要は、平成23年度の本研究所の研究活動状況および研究成果をまとめたものである。24年度においても、本研究所が本学の研究拠点としてさらなる発展を遂げることを期待するとともに、さらなるご支援をお願いする次第である。

平成24年5月

東京都市大学総合研究所
所長 高木研一

総合研究所構成員

(2011年4月1日現在)

所 長 教授 高木 研一
 准教授 吉田 明 (分析科学)

エネルギー環境科学研究センター

センター長	教授 永井 正幸	[工学部]兼務	(無機材料化学)
	教授 小林 光一	[工学部]兼務	(有機材料化学)
	教授 宗像 文男	[工学部]兼務	(固体化学)
	教授 武 哲夫	[工学部]兼務	(エネルギーシステム)
	准教授 江場 宏美	[工学部]兼務	(無機物質科学)
	客員教授 阿竹 徹	[東京工業大学・特命教授]	(物性物理化学)
共同研究者	鈴木 智史	工学部非常勤講師	(無機材料化学)
共同研究者	古谷 健司	[AGCセイミケミカル(株)・課長]	(材料プロセッシング)
共同研究者	国松 昌幸	[神奈川県産技センター・主任研究員]	(電気化学計測工学)
共同研究者	須田 聖一	[J F C C・主任研究員]	(無機材料工学)
共同研究者	嘉藤 徹	[産総研・グループリーダー]	(エネルギーシステム)

水素エネルギー研究センター

センター長	教授 武 哲夫	[工学部]兼務	(エネルギーシステム)
	教授 永井正幸	[工学部]兼務	(無機材料化学)
	教授 鈴木勝正	[工学部]兼務	(流体制御)
	教授 百目鬼英雄	[工学部]兼務	(パワーエレクトロニクス)
	教授 三原 雄司	[工学部]兼務	(内燃機関・トライボロジー)
准教授	和多田雅哉	[工学部]兼務	(パワーエレクトロニクス)
准教授	鳥居 肅	[工学部]兼務	(パワーエレクトロニクス)
准教授	伊東 明美	[工学部]兼務	(内燃機関・トライボロジー)
准教授	黒岩 崇	[工学部]兼務	(バイオ副生ガス化学)
准教授	山根公高	[工学部]兼務	(水素エネルギーシステム)
技士補	中川 研司		(エネルギーシステム)

ナノカーボンバイオデバイス研究センター

センター長	教授	田口 亮	[工学部]兼務	(画像解析)
	教授	秋谷 昌宏	[工学部]兼務	(バイオセンサ)
	教授	森 晃	[工学部]兼務	(プラズマ医学)
	教授	仁木 清美	[工学部]兼務	(超音波計測)
	教授	山本 俊昭	[工学部]兼務	(プラズマ応用)
	教授	丸泉 琢也	[工学部]兼務	(半導体工学)
	教授	小林 光一	[工学部]兼務	(有機材料化学)
	准教授	平田 孝道	[工学部]兼務	(バイオセンシング)
	准教授	島谷 祐一	[工学部]兼務	(感性生理学)
	講師	京相 雅樹	[工学部]兼務	(生体信号計測)
	講師	澤野憲太郎	[工学部]兼務	(半導体工学)
博士研究員	筒井 千尋			(内分泌学)
共同研究者	坂井 貴文	[埼玉大・教授]		(内分泌学)
共同研究者	畠山 力三	[東北大・教授]		(プラズマ理工学)
共同研究者	山本 雅	[東大・教授]		(分子生物学)

シリコンナノ科学研究センター

センター長	教授	丸泉 琢也	[工学部]兼務	(半導体工学)
	教授	白木 靖寛		(半導体工学)
	教授	小野 茂	[工学部]兼務	(プラズマ科学)
	教授	桐生 昭吾	[工学部]兼務	(量子計測)
	教授	岩松 雅夫	[知識工学部]兼務	(統計物理・計算物理)
	教授	岡野 好伸	[知識工学部]兼務	(マイクロ波応用)
	教授	吉田 真史	[知識工学部]兼務	(計算科学)
	教授	野平 博司	[工学部]兼務	(電子物性)
	講師	瀬戸 謙修	[工学部]兼務	(半導体CAD)
	講師	澤野憲太郎	[工学部]兼務	(半導体工学)
	講師	堀越 篤史	[知識工学部]兼務	(計算科学)
客員教授	中川 清和	[山梨大・教授]		(半導体工学)
客員教授	松井 敏明	[情報通信研究機構]		(半導体工学)
	夏 金松	[武漢光電国家実験室]		(半導体工学)
博士研究員	徐 学俊			(半導体工学)
技術員	田口 貞憲	[工学部]兼務		

伊坪研究室

准教授 伊坪 徳宏

重点推進研究室

地震リスクマネジメント研究室

教授 吉川 弘道 [工学部]兼務 (地震リスク,
コンクリート工学)

インキュベーション・ラボ

健康医科学研究室

教授	近藤雅雄	[人間科学部]兼務	(生命科学)
共同研究者	田中 徹	[SBIアラプロモ(株)・取締役]	(生物工学)
共同研究者	石塚 昌宏	[SBIアラプロモ(株)・ 研究開発部 部長]	(生化学)
共同研究者	井上 克司	[SBIアラプロモ(株)・ 研究開発部担当部長]	(光生体工学)
共同研究者	土屋 京子	[SBIアラプロモ(株)・ 研究開発部 マネジャー]	(生化学)
共同研究者	太田 麗	[SBIアラプロモ(株)・ 研究開発部 マネジャー]	(分析化学)
共同研究者	高橋 究	[SBIアラプロモ(株)・ 研究開発部 研究員]	(生化学)
共同研究者	石井 琢也	[SBIアラプロモ(株)・ 研究開発部 研究員]	(光生体工学)
共同研究者	小菅 祐子	[SBIアラプロモ(株)・ 研究開発部 研究員]	(生化学)

デジタルアーカイヴ研究室

教授	横井 利彰	[環境情報学部]兼務	(情報システム, シミュレーション技術)
共同研究者	鈴木 敏雄	[アーカイヴディスクテストセンター 運営責任者・主幹技術員]	(電子工学)
共同研究者	横倉 満	[アーカイヴディスクテストセンター 研究企画]	(経営工学)
共同研究者	小川 博司	[ビフレステック (株) 技術顧問]	(電子工学)

事務室

事務員 小久保眞佐子 社会連携課
事務員 鈴木栄里子 社会連携課

目 次

1. 平成23年度 活動報告	1
--------------------------	---

2. 平成23年度 研究概要

エネルギー環境科学研究センター	5
---------------------------	---

エネルギー環境科学研究センター

ー燃料電池プロジェクトの成果についてー

永井 正幸

中有温度領域で動作するリン酸処理石膏含有コンポの作製と評価

永井 正幸

複合酸化物材料の研究

ー固体酸化物燃料電池材料に関する基礎研究ー

宗像 文男

共通点型X線回折法による不均一試料内部の結晶構造分布の分析

江場 宏美

シリコンナノ科学研究センター	11
--------------------------	----

シリコンナノ科学研究センター概要

丸泉 琢也

シミュレーションによる量子・ナノデバイスの研究

丸泉 琢也

X線光電子分光法によるIV族半導体ヘテロ構造量子・ナノデバイスの研究

野平 博司

高速 Ge チャンネルデバイス構造の開発

澤野憲太郎

Silicon-based Light Emitting Devices based on Ge Quantum
Dots in Optical Cavities

徐 学俊

歪み Ge チャンネル変調ドーブ構造の磁気輸送特性

星 裕介

ナノカーボンバイオデバイス研究センター	19
-------------------------------	----

ナノカーボンバイオデバイス研究センター概要

田口 亮

生体親和型カーボンナノチューブデバイスの設計に関する検討	平田 孝道、秋谷 昌宏
マイクロスポット大気圧プラズマ源を用いた再生治療	平田 孝道、筒井 千尋 森 晃、秋谷 昌宏
大気圧プラズマ源から発生したプラズマの吸入による疾患治療	平田 孝道、筒井 千尋、森 晃
埋め込み型信号検出・伝送回路の開発	京相 雅樹、島谷 祐一
環境影響評価手法研究センター・・・・・・・・・・・・・・・・	2 7
環境影響評価手法研究センター概要	伊坪 徳宏
環境影響評価手法研究センター平成23年度研究成果報告	伊坪 徳宏
水素エネルギー研究センター・・・・・・・・・・・・・・・・	3 1
水素エネルギー研究センター概要	武 哲夫
重点推進研究室・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3 5
地震リスクマネジメント研究室	
地震リスク曲線で読み解く都市防災	吉川 弘道
粉末冶金材料開発研究室・・・・・・・・・・・・・・・・	3 9
粉末冶金材料開発研究室報告	高木 研一
カーボン材料構造解析研究室・・・・・・・・・・・・・・・・	4 3
カーボン材料構造解析研究室概要	吉田 明
無煙炭における不均一黒鉛化---ラマンスペクトル測定による検討	吉田 明
インキュベーション・ラボ	
健康・医科学研究室・・・・・・・・・・・・・・・・	4 9
健康・医科学研究室概要	近藤 雅雄
健康医科学研究室研究報告	近藤 雅雄

デジタルアーカイヴ研究室	5 3
------------------------	-----

デジタルアーカイヴ研究室の概要

横井 利彰

水素自動車実用化研究室	5 7
-----------------------	-----

水素自動車実用化研究室報告

山根 公高

3. 研究論文

エネルギー環境科学研究センター	6 5
シリコンナノ科学研究センター	9 1
ナノカーボンバイオデバイス研究センター	1 2 5
水素エネルギー研究センター	1 3 7
重点推進研究 地震リスクマネジメント研究室	1 4 9
粉末冶金材料開発研究室	1 8 1
カーボン材料解析研究室	1 9 7
健康・医科学研究室	2 0 7

総合研究所 平成23年度活動報告

月	日	活 動 内 容
4	16 21 27	第2回テクノロジーフロンティア研究会シンポジウム(ISTEC超伝導研究所) 第75回所内会議 総合研究所利用者説明会(前期)(学生及び貸研究室等登録者対象)
5	9 19 20 31	第35回運営委員会 第76回所内会議 第48回総研セミナー(ナノカーボンバイオデバイス研究センター) 総合研究所紀要ー第6号ー発行
6	30	シリコンナノ科学研究センターシンポジウム(第49回総研セミナー)
7	21 28	第77回所内会議 第50回総研セミナー(エネルギー環境科学研究センター)
8	30 31	第51回総研セミナー(地震リスクマネジメント研究室) 重点先行研究 地震リスクマネジメント研究室 研究期間満了
9	20 22 28	工学部エネルギー化学科 フレッシュヤーズ講演会・交流会 第52回総研セミナー(伊坪研究室) 第78回所内会議
10	3 12 20 24	第36回運営委員会 総合研究所利用者説明会(後期)(学生及び貸研究室等登録者対象) 第79回所内会議 第53回総研セミナー(ナノカーボンバイオデバイス研究センター)
11	12 16 29 30	セラミックス大学2011 (社)日本セラミックス協会 第80回所内会議 第54回総研セミナー(シリコンナノ科学研究センター) 防災訓練
12	8 21	第55回総研セミナー(エネルギー環境科学研究センター) 第37回運営委員会
2	8 18 27	第81回所内会議 校友会OB総研見学(富士電機・横浜ゴム) 第56回総研セミナー(伊坪研究室)
3	15 17 21 31	文部科学省平成23年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業シンポジウム エネルギー環境科学研究センター(第57回総研セミナー) 運営委員会 メール審議 第82回所内会議 第3回 テクノロジーフロンティア研究会シンポジウム(ISTEC超伝導研究所)

エネルギー環境科学研究センター

エネルギー環境科学研究センター
—燃料電池プロジェクトの成果について—

本プロジェクトの正式名称は、文部科学省戦略的研究基盤形成支援事業—生活密着型次世代燃料電池の研究開発と解析手法の確立によるシステムの最適化—である。プロジェクト期間は、平成 20 年度～24 年度にわたる 5 カ年であり、平成 23 年度は、最終年度の纏めに繋がる重要な年度である。そこで、申請書に記載した基本的な考え方と現在燃料電池に求められている役割とを比較検証し、研究の目指す方向の一層の鮮明化を図り、成果の質的向上に生かすこととした。

生活密着型という観点から、固体高分子形燃料電池（PEFC）と固体酸化物形燃料電池（SOFC）に対象を限定し、二つのサブプロジェクトに分かれて、それぞれの部材の作製、分析評価を行ってきた。特に、PEFCについては、セルの効率向上とシステムの簡素化を考慮して、150℃程度の中温度領域で動作するセルも研究対象とした。各部材を用いて電池システムを組み立て、解析評価の結果に基づいて次世代燃料電池システムを構築することにより、日常生活に役立てることを目指して研究を進めてきた。分析評価や解析評価のような共通的な事項については、その成果を速やかに全メンバーが共有できるような柔軟な体制で研究に取り組みを行ってきた。たとえば、ゼータ電位測定装置を用いると、頻繁に使用する電解質、電極、触媒などの微粒子の大きさや表面電位を測定でき、その基本的な考えは両サブプロジェクトにとって役に立つものである。

一方、SOFCに関しては、600℃程度の中温度領域での作動を目標としているので、セルの電解質の薄膜化、小型化と同時に電極触媒の役割が極めて重要である。新規電極としては、非レアメタル系セラミックスを中心として検討を進めてきた。多孔質体で機械的な強度と電気伝導性をもち、長期耐久性を保持する電極触媒を作製するために、種々の製法を検討している。その一つに、電気泳動法があり、粒子径と表面電位が主要な制御因子である。もちろん、電解質膜の作製に利用することも可能で、均質な薄膜型のセルの特性評価を 600℃程度まで行うことが可能となった。

燃料電池セルの研究概要は以上の通りである。生活密着型という観点より、小型化、セル構造の簡素化、非レアメタル化等が必要になるが、二つのサブプロジェクト代表からそれぞれ進捗状況が報告されるので、詳細にはふれない。生活密着型の例として分かりやすいのは、スマートグリッドであろう。エネルギーと通信の両方をネットワーク化して、IT制御により最適化を図るという考えは、情報ネットワークと同じくらいに歴史のある考え方である。実現できなかったのは、エネルギーの多様性を技術的に保証するシステムが無かったからであろう。さらに、地域に特化して独立して機能させることができれば、マイクログリッドと呼ばれる（別の定義もある）。多くの提案をみると、マイクログリッドの電源は、太陽電池、風力発電、小型水力発電などの再生可能エネルギーがあげられている。燃料電池、二次電池、スーパーキャパシタなどは蓄電池として位置づけられている場合がある。燃料電池は逆に動かせば水の分解になるので、そのような発想が出てくるのであろうが、燃料電池は水と組み合わせれば、再生可能エネルギーに位置づけることも可能である。そのような意味で、生活密着型の様々な利用形態の中で、マイクログリッドは一つの解答であろう。私たちの研究の先には、そのような将来構想があることを想起しながら、燃料電池セルの性能向上に邁進したい。

2012 年 5 月

エネルギー環境科学研究センター

センター長 永井 正幸

1. リン酸 2 倍量処理石膏の作製と評価

リン酸 2 倍量処理石膏単独での交流インピーダンス測定を実施した結果、160℃の時に $1.00 \times 10^{-2} \text{S/cm}$ 、100℃の時に $9.95 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ のイオン伝導率を持ち合わせていることが分かり、先行研究³⁵⁾と同様な性能が得られることが分かった。その時の活性化エネルギーは 3kJ/mol と見積もった。膜試料に用いているリン酸処理石膏は 200℃熱処理後、斜方晶の無水の $\text{II} \cdot \text{CaSO}_4$ であることが分かった。

2. ゴルゲル法による膜作製と評価

膜試料の最適値はリン酸処理石膏 70wt%、GPTES:GPMDDES=1:1(モル比)、P/Si=1.7 と得られた。膜試料は熱処理を行う事により形状安定性を得る事ができた。またイオン伝導率は $7.58 \times 10^{-4} \text{S/cm}$ (降温時、160℃)で活性化エネルギーが 21.26kJ/mol (降温時) と得られた。イオン伝導率はリン酸処理石膏単独に比べ約 1 桁低く、また活性化エネルギーも大きいことが分かった。リン酸処理石膏を抜いた試料では膜の強度が低下し、110℃においてセルの圧縮応力に耐えられず、破断することが分かった。150℃ 無加湿条件での発電試験においての出力が得られた。出力密度は 0.35mW/cm^2 (1.00mA/cm^2 ; 0.35V 時)であった。膜試料作製時のゾルを電極のイオノマーとして使用して発電が可能であった。触媒混合比は白金:ゾル=1:0.75(重量比)の電極で最大値を得た。

3. 直接混合法による膜作製と評価

膜試料の最適値はリン酸処理石膏 70wt%、GPTES:KF-101=1:0.1(エポキシ等量比)、P/Si=1.5 と得られた。膜試料の柔軟性は GPTES と KF-101 の比率を調節することで調整が可能だと言うことがわかった。膜試料のイオン伝導率は $1.08 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ (降温時、160℃)で活性化エネルギーが、 27.66kJ/mol (降温時)と得られた。イオン伝導率は、リン酸処理石膏単独に比べ約 1 桁低く、また活性化エネルギーも大きいことが分かり、膜基材のみの活性化エネルギーが 33.45kJ/mol (昇温時)と得られたことから、膜試料の活性化エネルギーは膜基材によって大きくなっていることが示唆された。リン酸処理石膏を抜いて作製した膜試料では 160℃を長時間保つことが難しい事が分かった。150℃ 無加湿条件での発電試験においての出力が得られた。出力密度は 0.79mW/cm^2 (2.76mA/cm^2 ; 0.28V 時)であった。ゾル-ゲル法のゾルを電極のイオノマーとして使用して発電が可能であった。触媒混合比は白金:ゾル=1:0.75(重量比)の電極で最大値を得た。

4. 作製方法による比較

FT-IR、NMR より、膜内ではシロキサン結合での膜マトリクス、P-O-Si の確認によるケイリン酸塩の形成がどちらの作製方法でも得られ、膜マトリクスの分子構造の類似性が確認された。

XRD より膜内のリン酸処理石膏の構造は 200℃熱処理後と変わらず、どちらの作製方法でも無水の $\text{II} \cdot \text{CaSO}_4$ を維持していた。イオン伝導率、発電試験結果では直接混合法がゾル-ゲル法をイオン伝導率、発電出力共に上回っていた。TG/DTA より膜内水分は異なる作製方法で作製した試料間の発電出力比較には影響がない事が分かった。SEM では膜試料内の石膏の分散に違いが見られ、ゾル-ゲル法では石膏粒子の粒径や表裏の分散状態にバラツキがあり、直接混合法では均一かつランダムな方向を向いて存在していることが分かった。

以上から実際の発電試験までの結果を受けて、ゾル-ゲル法では作製プロセスから物性制御の難しい。一方、直接混合法は膜内の分散性の良く、イオン伝導率や発電特性も高く得られたことから、中温動作燃料電池用電解質膜として有望だと考えられる。

複合酸化物材料は、高効率な燃料電池、太陽光を有効利用した人工光合成技術、廃熱を有効利用する熱電発電技術など種々の応用の可能性が知られている。平成 23 年度は、この様な複合酸化物材料の応用として固体酸化物燃料電池に関する材料に注目して研究を行った。

従来 SOFC の固体電解質に $(\text{ZrO}_2)_{0.92}(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.08}$ (8YSZ)を用いているが、低温下では酸素イオン伝導率が低下し、十分な発電性能が得られない。しかし、8YSZ は強度・靱性という機械的特性に優れ、SOFC 用としてのみならず酸素センサーや、構造材料としても用いられている。一方、LSGM は高い酸素イオン伝導性を有しているが、機械的特性は YSZ よりも低く、実用材料としては、機械的な特性をはじめいろいろな検討を加える必要があると考えられている。特に、SOFC が実際に作動する 500℃以上の高温域における機械的特性について十分な検討はなされていない。

そこで、実際の作動温度域である 600℃付近での破壊靱性の向上を目指した材料設計の指針をする為に、 $\text{La}_{0.925}\text{Sr}_{0.075}\text{Ga}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (La

と記載) と $\text{Ln}_{0.925}\text{Sr}_{0.075}\text{Ga}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$

(Ln= $\text{La}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}$; $\text{La}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}$ と記載)

の試料を固相反応により作成し、破壊靱性における La サイトの Nd 置換効果について検討した。ビッカース硬度及び破壊靱性値 (K_{IC}) の測定については、室温から 900℃の温度域で高温ビッカース硬度試験機(Nikon QM-2)を用い行った、得られた結果のうち、破壊靱性値 K_{IC} についての結果を図 1 に示す。右図のように La のみの方は 300℃までは、急激に減少するが、それ以降ほぼ一定値になる傾向であったが、 $\text{La}_{0.5}\text{Nd}_{0.5}$ では、300℃

まで減少した後、400℃から 600℃にかけて、破壊靱性の改善が見られた。この温度域は実際に燃料電池の作動温度域であり、この挙動の再現性があることから、作動時の熱衝撃性の向上に効果が期待される。そもそも熱衝撃値には、破壊靱性値の項に依存することが知られており、今回の挙動をうまく利用すれば耐久性に優れた発電素子の開発に結び付けられるものと考えている。今後は、

1) 電極材料と反応しにくい緩衝中間組成と固体電解質組成の選定
2) 破壊靱性の向上を図る為の LSGM 電解質材料の設計指針の確立
3) 熱衝撃などに対応した破壊力学特性を向上したセル構成の選定
を行い、高出力で熱的安定性に優れたセルの開発に結び付けていきたい。

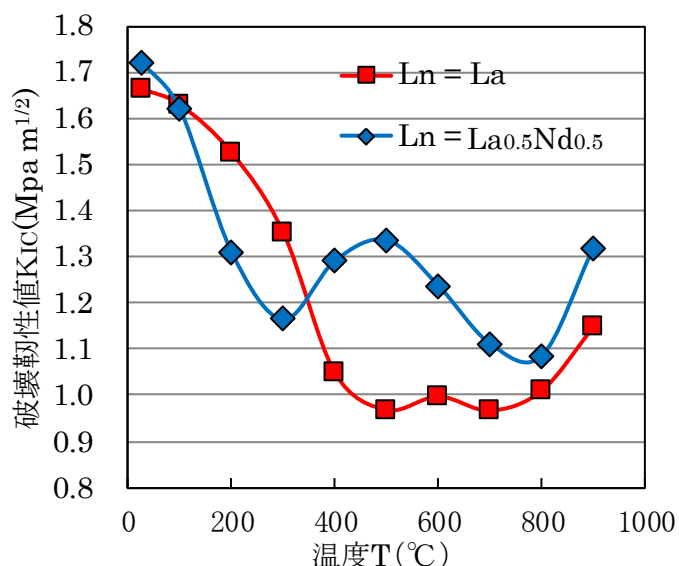


図 1 破壊靱性値の温度依存性

共焦点型 X 線回折法による不均一試料内部の結晶構造分布の分析

江場宏美、市村晃一（大学院博士前期課程 2 年）

1. はじめに

近年、X 線集光技術の進歩によってマイクロビームを利用した分析手法の開発が進められている。特に試料内部における 3 次元的な元素分布の分析法として、共焦点配置による蛍光 X 線分析法などの 3 次元 X 線分析手法の研究が進められている。しかし、3 次元的な結晶相の分布を X 線回折法によって非破壊に分析する手法の開発は進んでいない。本研究では共焦点型の X 線回折装置を試作し、複数の結晶相からなる試料についての分析を試みた。

2. 実験装置と実験方法

2.1. 共焦点型配置の構成

Bragg-Brentano 型粉末 X 線回折装置 (CuK α , 40kV - 30mA) の発散スリット、ソーラスリットを外して、集光素子としてポリキャピラリーレンズ (X-RAY OPTICAL SYSTEMS 社製、設計ゲイン: ≥ 200) を設置した。管球からの X 線取り出し角は水平から下向きに約 6° とした。直径 $20\ \mu\text{m}$ のステンレスワイヤーを用いて、蛍光 X 線プロファイルの半値幅から集光ビーム径を評価したところ、焦点位置において約 $80\ \mu\text{m}$ であった。一方検出器側には内径 2mm、長さ 100mm のスチール製のパイプを、散乱スリット、ソーラスリット、受光スリットの前に設置することで共焦点型の配置とした。試料は xyz 方向に走査可能な試料ステージに設置した。

2.2. 不均一試料の深さ方向の XRD 測定

Fig.1 のような複数の結晶相からなる模擬試料を試料ステージに水平に設置した。セルロース表面を基準点 ($z=0$) とし、試料を z 方向に走査し、 $z = 0.25\text{mm}$ 、 0 、 -0.4mm 、 -0.75mm の各測定点において、 $3^\circ/\text{min}$ の走査速度で $2\theta = 10^\circ \sim 50^\circ$ の範囲について XRD 測定を行った。

3. 結果と考察

Fig.2 に模擬試料の各測定点において得られた XRD パターンを示す。キャピラリーレンズから出射された X 線の角度発散をレンズからの距離とビーム径との関係から見積もったところ約 4.3° あり、入射 X 線の角度発散が大きいため、回折線のピーク幅は大きくなったが、試料内部における、各結晶相を識別することができた。今回の光学配置では、集光した X 線を浅い角度で試料に入射することで z 方向の共焦点サイズ (共焦点の厚み) が小さくなり、層状構造の各層を分離できるだけの分解能が得られた。

4. まとめ

試作した共焦点型 X 線回折装置によって、複数の結晶相を含む試料の任意の深さにおける結晶構造やその分布についての情報を得ることができた。本装置を用いて、3 次元的な結晶相分布の分析も可能であった。

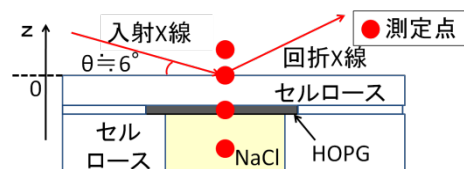


Fig. 1 模擬試料の模式図

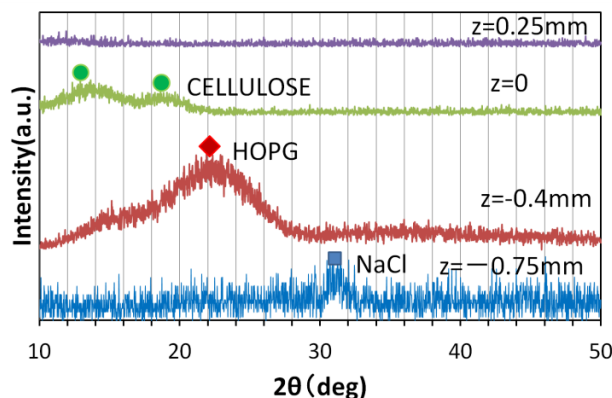


Fig.2 試料の各深さにおける XRD パターン

シリコンナノ科学研究センター

シリコンナノ科学研究センター概要

シリコンナノ科学研究センターでは、平成 21 年度に採択を受けました文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「次世代 LSI に向けた新機能シリコン系ナノ電子・光・スピンドバイスの創出」プロジェクトを推進しております。本プロジェクトは、実験研究を主とする『新機能シリコンフォトリック・スピンドバイスの創製と LSI 化に向けた研究（新機能デバイスプロジェクト）』と、シミュレーション研究により実験研究の加速・支援を目指す『シリコンナノシステムの計算科学（計算科学プロジェクト）』の 2 研究テーマで構成され、23 名の研究者が参加しております。

平成 23 年度は、プロジェクト期間の折り返しとなる 3 年目を迎えましたので、第 2 回シンポジウムを 6 月 30 日に開催し、プロジェクト進捗状況とその展開方向について報告し、外部評価委員の先生方の忌憚のないご意見を賜る機会を設けました。また、鳥海明東京大学教授から「Ge トランジスタ研究のおもしろさ」、日本電気大橋啓之様から「LSI と光」、そして、中山隆史千葉大学教授から「理論シミュレーションによる物性予測」と題する招待講演をいただき、電子デバイス、光デバイス、そして理論研究に関する最新の研究状況を学内研究者ならびに院生、学生に、ご紹介頂きました。本シンポジウムで得られました外部評価委員の先生方のご意見を踏まえ、9 月末にプロジェクト中間報告書を文部科学省高等教育局あて提出し、専門委員 2 名による中間評価を受けました。この結果、平成 24 年 2 月に、両専門委員ともに、総合所見 A 評価（着実な進捗が見られる）との中間評価結果を頂きました。具体的な評価に関しては、まず、研究施設・設備等については、「整備されている」、次いで、プロジェクト評価の中心となる、研究成果に関しては、「査読付き論文は 63 報あり、新聞報道もされており、研究成果が得られている」との評価を頂くとともに、「学外の研究機関からの参画があり、外部評価委員会も設置し、評価いただいております、研究組織は評価できる」とプロジェクト推進体制に関しても高い評価を頂く事が出来ました。

さて、平成 23 年度の具体的な研究成果でございますが、まず、超高速電子デバイスの研究開発では、ホール、電子共に高速化が期待できる、一軸歪デバイス作製プロセスの高度化を進めました、従来のイオン注入法による歪導入技術に加え、傾斜組成法を用いた歪構造の作製に注力し、多くの研究成果を得ることが出来ました。次に、Ge 量子ドットとフォトリック微小共振器を組み合わせたシリコン系光デバイスの研究では、従来の縦型 p-i-n ダイオード構造を、横型に変更し、電流注入効率を高め、発光強度の増大とスペクトル先鋭化を目指しました。この結果、通信波長帯で、スペクトルの先鋭度を表わす Q 値で、1,500 という世界記録を達成することが出来ました。この成果は、論文投稿（APEX、Optics Express）すると共に、渋谷サテライトクラスで、記者発表会を 4 月 25 日に開催し、公開いたしました。日刊工業新聞、化学工業日報、電波新聞に 4 件掲載されると共に、日経 BP をはじめとする WEB 誌で 5 件、紹介、報道されました。さらに、米国電気化学学会では、招待講演を行い、高い関心を得ることが出来ました。一方、計算科学プロジェクトでは、ドーパント不純物の表面偏析機構の第一原理計算、光デバイス共振器構造の最適設計など、新機能デバイスプロジェクトで進められる実験研究と緊密に連携し、プロジェクト全体の進捗に大きく寄与することが出来ました。

平成 24 年度以降は、プロジェクト後半に入りますので、新機能デバイスプロジェクト、計算科学プロジェクトの双方とも、プロジェクト最終目標完遂に向け、一層緊密に連携し、注力して参ります。今後とも、関係各位のご指導、ご鞭撻をお願い申し上げます。

2012 年 5 月

シリコンナノ科学研究センター
センター長 丸泉 琢也

1. はじめに

シリコンナノ科学研究センターでは、IV族半導体ヘテロ構造を利用する超高速電子デバイス、Ge 量子ドットと微小共振器を組み合わせた発光デバイスなどの量子・ナノデバイスの研究開発を進めている。本研究では、材料、プロセス、デバイスの各階層にわたるシミュレーション技術を活用し、これら量子・ナノデバイスの開発を支援、加速する事を目的としている。具体的テーマとしては、第一原理計算による半導体表面でのドーパント不純物偏析の機構検討、結晶塑性解析によるナノスケール MOS(Metal Oxide Semiconductor)デバイスの応力・転位分布が電気特性に与える影響の評価、一次元フォトニック結晶微小共振器の構造最適化などの研究を鋭意、進めた。夫々の研究について、その要点を報告する。

2. 研究成果

1) 第一原理計算によるドーパント不純物偏析機構の解明

不純物ドーパントの表面偏析は、総合研究所で進めている分子線エピタキシー結晶成長において極めて重要である。澤野准教授により、アンチモン(Sb)ドーパントの δ ドーピングプロセスを利用した、ゲルマニウム(Ge)表面での低抵抗コンタクト形成技術が研究されているが、Ge 表面方位の違いにより偏析挙動が異なる事や、シリコンとも異なる事が分かってきた。そこで、第一原理計算により、偏析過程評価で重要となるポテンシャル解析をSb, As, B, Ga の4種について行い、面方位の違いなどを検討した。Ge(100)面でのポテンシャル図を図1に示す。Sb, Ga に比べ、B, As は偏析傾向が少ない事が予想される。

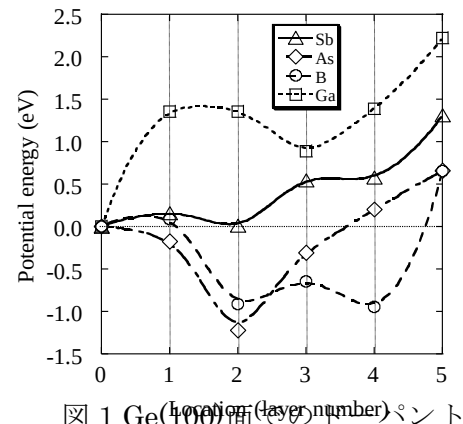


図1 Ge(100)面(layer number)ドーパント不純物ポテンシャル

2) デバイスシミュレーションによる STI 型微細 MOS 特性解析

MOS(Metal Oxide Semiconductor)電子デバイスの微細化に伴い、内部応力による結晶転位の発生が顕在化している。本研究では、北見工业大学との共同研究により、STI(Shallow Trench Isolation)型 MOS デバイス内部に発生した転位が、基板リーク電流に及ぼす効果を検討した。転位密度の解析には、結晶塑性解析プログラム CLP7 を用い、デバイスシミュレータ DESSERT™との連携解析を行った。転位の電気特性に及ぼす効果は、ディープレベルモデルを用いた。金のデータを参考にて、基板リーク電流を解析した結果をデバイス構造とともに図2に示す。今後、転位モデルに関する一層の検討が必要であるが、具体的な転位を組込んだシミュレーションを初めて実施することが出来た。

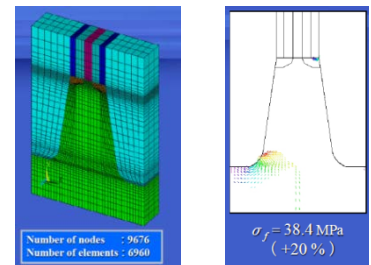


図2 結晶塑性解析とデバイスシミュレーションによる STI-MOS の特性解析

3) FDTD 法による一次元フォトニック結晶の検討

Ge 量子ドットをフォトニック結晶等の微小共振器と組み合わせた光デバイスの試作、最適化をシリコンナノ科学研究センターでは推進しているが、デバイス試作と最適化に FDTD(Finite Difference Time Domain)法を用い、先行的に構造、プロセスを最適化出来れば、試作回数の低減、特性向上など多くの利点がある。これには、先ず、シミュレーションの予測精度の向上が極めて重要となる。本研究では、図3に示す一次元フォトニック結晶のピーク位置と Q 値の実験値が再現できるように、シミュレーション条件の最適化を進めた。この結果、極めて高精度に実験値を予測出来る解析条件の設定を見出すことが出来た。

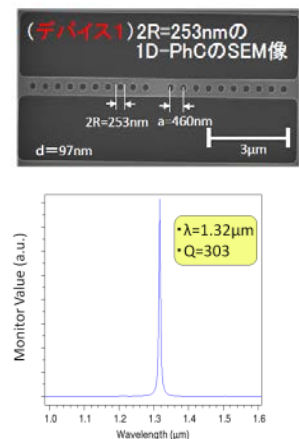


図3 一次元フォトニック結晶微小共振器特性解析

3. 関連研究成果

1. 伊藤俊祐、丸泉琢也、諏訪雄二、“Si 表面近傍におけるボロンクラスターの安定位置とその STM 像、”電気学会論文誌(A 編)、131、478-483(2011)(査読有)。
2. 中山利紀、川崎裕、丸泉琢也、“ハフニウム酸化物への元素添効果”、信学技報、111、75-80 (2011) (査読無)。
3. F.Iijima, K. Sawano, J. Ushio, T. Maruizumi, and Y. Shiraki, “Surface segregation behavior of B, Ga, Sb and As dopant atoms on Ge(100) and Ge(111) surface examined with a first-principles method” J. Physics:Conference Series, Accepetd(査読有)。

1. はじめに：量子・ナノデバイスの開発を支援、加速する事を目的として X 線光電子分光測定をはじめとする材料評価技術を活用し、ゲート電極／高誘電率絶縁膜／半導体界面構造や不純物分布などの評価を行っている。本報告書では、2011 年度に行った研究の成果の一部を述べる。

2. 研究設備：総合研究所には、高誘電率材料の成膜、加工のための平行平板型スパッタリング装置（アネルバ㈱、L-250S-FH（特型））、エッチング装置（アネルバ㈱、L-201D-SLA（特型））がある。また、世田谷キャンパス・半導体特別研究棟には、プラズマ酸化・窒化装置、光酸化装置、超高分解・高感度 X 線光電子分光装置 ESCA-300、分光エリプソ装置、原子間力顕微鏡を所有している。

3. 研究成果の紹介：2011 年度に行なった研究のうち、次々世代の MOSFET のチャネル構造として有望な IV 族半導体ヘテロ構造を持つ $\text{HfO}_2/\text{Si-cap}/\text{strained-Ge}/\text{SiGe}/\text{Si}$ 積層構造における Si-cap 層の厚さが積層構造の化学結合状態に及ぼす影響についての研究成果を述べる。試料は、総合研究所の MBE 装置やスパッタ装置を用いて作製した。これらの試料を乾燥酸素雰囲気中、 300°C 、 400°C における熱処理を行い、SPRING-8 の BL46XU において、エネルギー 8keV の放射光を励起光に用いた角度分解硬 X 線光電子分光測定を行った。本年度は、 HfO_2 中への Ge の拡散に及ぼす Si-Cap 層の効果に注目し、Ge 2p 光電子スペクトル（図 1）と Hf 3d 光電子スペクトルを詳細に解析した。その結果、(1) HfO_2 層と歪み Ge 層が直接接触している場合、Ge の酸化物が形成され容易に HfO_2 中へ拡散すること、(2) HfO_2 層と歪み Ge 層の間に Si-cap 層を挿入した場合、未酸化の Si 層が残っている場合だけでなく、未酸化の Si 層が残っていない場合、すなわちすべて SiO_2 層に変化しても、堆積および熱処理中の HfO_2 への Ge 酸化物の拡散が抑制されること、を見出した。これは、電気的特性の悪化を引き起こす Ge 酸化物の HfO_2 中への拡散を薄い Si 層を挟むことで抑制できることを意味する。また、これと並行して Ge に δ ドーピングした Sb の化学結合状態の評価を試みた。その結果、Sb は、少なくとも 2 つの結合状態で Ge 中に分布していることを見出した。

4. 今後の研究計画：2012 年度は、前年に引き続き X 線光電子分光法による評価から、熱的に安定かつ電気的特性に優れた高誘電率絶縁膜／半導体界面構造を探る。具体的には、 HfO_2 への La や Ce などの他元素の添加、窒化膜等の界面バリア層の挿入などである。また、 δ ドーピングの評価を行う。これらの結果と丸泉グループのシミュレーション（ケミカルシフト計算・構造安定性解析など）による研究と連携しながら進めて行くことで、量子・ナノデバイス実現のために不可欠な高品質な高誘電率絶縁膜／半導体(Si、Ge、歪 Si および歪 Ge)界面の実現をめざす。また、 $\text{Fe}_3\text{Si}/\text{Ge}$ の評価も行う予定である。

5. 成果発表

- 1) H. Nohira et al., Electrochemical Society Inc., ECS Transactions, **Vol. 41**, pp. 137-146 (2011).
- 2) K. Yamashita, et al., Electrochemical Society Inc., ECS Transactions, **Vol. 41**, pp. 265-272 (2011).
- 3) K. Yamashita, et al., Japanese Journal of Applied Physics, Vol. **50**, pp. 10PD02-1 - 10PD02-5 (2011).
- 4) D. Zade, et al., Japanese Journal of Applied Physics, Vol. **50**, pp. 10PD03-1 - 10PD03-4 (2011).
- 5) Polona Škraba, et al., Thin Solid Films, Vol. **519**, pp. 4216-4219 (2011).

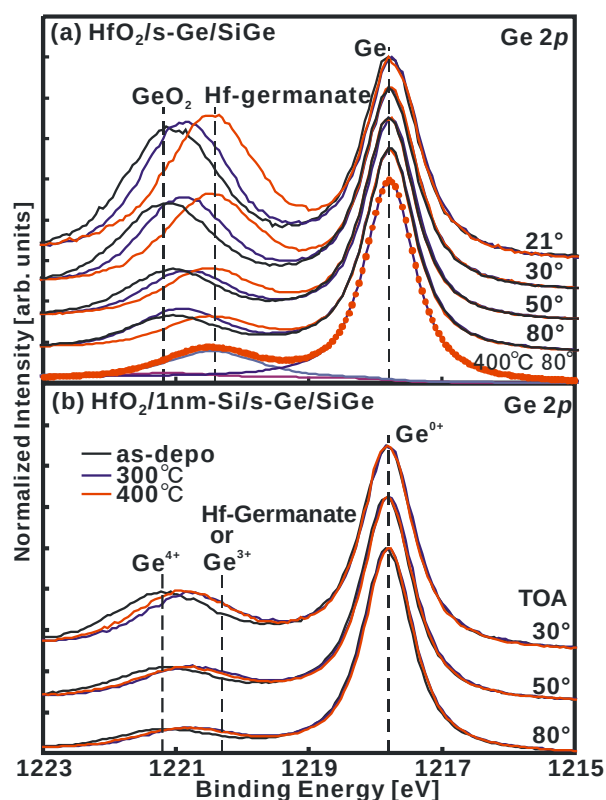


図 1 (a) $\text{HfO}_2/\text{s-Ge}/\text{SiGe}$, (b) $\text{HfO}_2/1\text{nm-Si}/\text{s-Ge}/\text{SiGe}$ からの Ge 2p 光電子スペクトルの熱処理による変化

高速 Ge チャネルデバイス構造の開発

総合研究所シリコンナノ科学研究センター 澤野憲太郎

【研究背景、目的】

今日、半導体 LSI 素子は、寸法縮小化による性能向上の限界に直面しており、新たな技術革新が必須となっている。その中で、次世代の CMOS チャネル材料として Ge が注目されている。本研究では、電子の高移動度が期待される Ge(111)基板の形成技術開発を進めた。そのために、Si 基板上への高品質 Ge 膜の結晶成長技術、さらにそれを応用させた GOI (Ge-on-Insulator)基板の開発を進めた。

【研究成果】

まず、低温と高温での Ge 成長を連続して行う（2 段階成長）ことにより Si(111)基板上に Ge 膜を形成した。作製した試料について X 線回折測定を行い、ロックングカーブから得られる Ge ピークの半値幅を求めた。また各試料の表面ラフネスを原子間力顕微鏡(AFM)で評価した。図 1 に半値幅と RMS ラフネスの低温(LT-)Ge 層成長温度依存性を示す。LT-Ge 層成長温度を低下させることで、LT-Ge 層の平坦性が向上し、HT-Ge 層のピーク半値幅、RMS ラフネスが共に減少しており、HT-Ge 層の結晶性が大幅に向上していることを示している。TEM 観察からも、傾斜組成法など、他の手法で作製した Ge 薄膜と比較して非常に欠陥密度の低い Ge(111)疑似基板が得られていることが分かった。これらの結果より、2 段階成長法が、Ge(111)チャネルデバイス応用に非常に有望であると言える。さらにこの Ge 膜は、Si 基板との熱膨張差に起因して、0.17%の引っ張り歪みが導入されていることが分かった。この歪みはバンド構造を直接遷移型に近づけることが分かっており、光デバイス応用へ向けても有望な構造と言える。

この構造をもとに形成した、歪み GOI(111)基板の断面 TEM 像を図 2 に示す。歪み Ge 層中に僅かに転位が見られるものの、その密度は十分に小さく、また、歪み Ge 層と SiO₂ 膜の貼り合せ界面は急峻であり、高品質な歪み GOI(111)構造が形成できていることが分かった。CMP により歪み Ge 層を薄膜化することで、超薄膜歪み GOI(111)構造が作製できると考えられ、高速電子デバイスのみならず、光デバイス応用へ向けても非常に有望な基板となる。

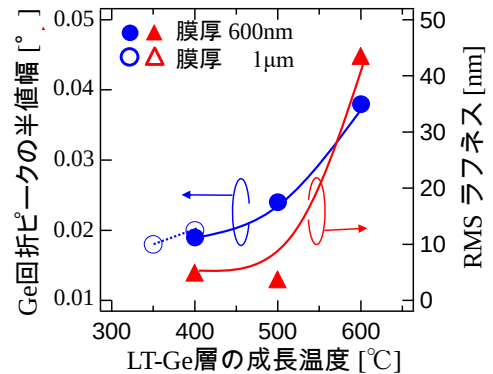


図 1 GeX 線回折ピーク半値幅と表面ラフネスの LT-Ge 層成長温度依存性

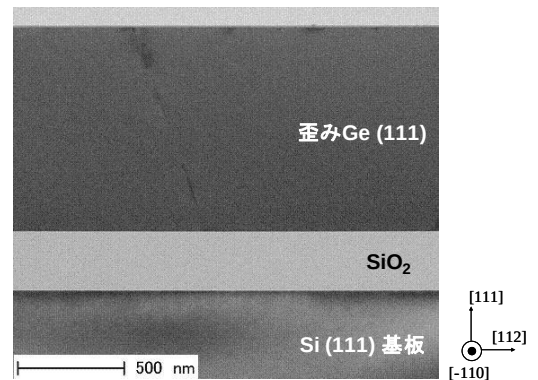


図 2 歪み Ge(111) on Insulator 構造の断面 TEM 像

【関連投稿論文】 [1] “Formation of ultra-shallow Ohmic contacts on n-Ge by Sb delta-doping” K. Sawano et al., MRS Proceedings 1305, aa17-30 (2011). [2] “Line width dependence of anisotropic strain state in SiGe films induced by selective ion implantation”, Y. Hoshi and K. Sawano et al., APEX 4, 095701 (2011). [3] “Formation of Tensilely Strained Germanium -on -Insulator”, Y. Hoshi and K. Sawano et al., APEX 5, 015701 (2012).

Silicon-based Light Emitting Devices based on Ge Quantum Dots in Optical Cavities

総合研究所シリコンナノ科学研究センター 徐 学俊

1. Introduction

Due to its inherent nature of indirect band gap, silicon is thought to be a poor light emission material. Ge self-assembled quantum dots (QDs) grown on silicon can relax the forbidden rules due to the quantum confinement effect. However, the light emission efficiency is still too low for application. By combining optical cavities with Ge QDs, the light emission can be significantly enhanced according to the Purcell effect. We thus demonstrated both optically and electrically pumped light emitting devices based on Ge QDs at room-temperature.

2. Photoluminescence from optical cavities with Ge QDs

Ge QDs were grown on SOI wafer by solid source molecular beam epitaxy (SS-MBE). Photonic crystal (PhC) nanocavities and microring/disk resonators were then fabricated by electron beam lithography (EBL) and ICP-RIE dry etching. The BOX in the samples with PhC cavities was removed by HF wet etching to form free-standing structure. Figure 1(a) shows typical micro-photoluminescence (PL) spectrum from Ge QDs embedded in a L3-type PhC nanocavity, together with the SEM image in the inset. Very sharp resonant peak, with Q-factor of around 2000, are observed, as well as a large enhancement of light emission intensity at the resonant wavelengths. Those peaks are well identified as the PhC cavity modes through comparison with the numerical simulation results, as shown in the dashed lines in Fig. 1(a). Figure 1(b) shows the SEM image of a microring with radius of 1.1 μm , and the PL spectrum. Sharp peaks corresponding to the whispering gallery modes are also observed, with Q-factor of around 1000-4000.

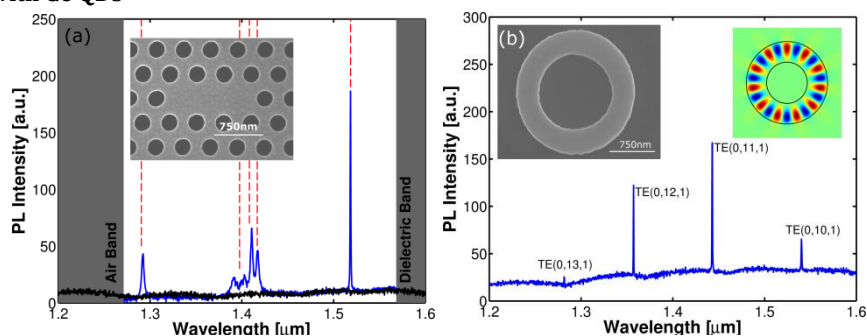


Fig. 1 PL spectra and SEM images of photonic crystal nanocavity (a) and microring (b) with Ge QDs.

3. Electroluminescence from photonic crystal nanocavities with Ge QDs

Electrical-injected light emitting diodes are more desirable in practical applications. We thus fabricated PhC nanocavities with Ge QDs integrated with a lateral PIN diode, as shown in Fig. 2(a). Lateral PIN diode structure is more preferred compared with our previous vertical PIN diode, because the carriers can be injected and confined in the cavities more efficiently, and the electrical structure has few effects on the optical performances of the cavity. When we apply a forward bias onto the diode, the carriers are injected into the PhC cavities, and the electroluminescence spectra are shown in Fig. 2(b) under different injected currents. Strong resonant EL around 1.3-1.5 μm is successfully demonstrated when the current is larger than 0.5 mA. The resonant peaks also agree well with the simulation results, indicating that they are corresponding to the PhC cavity modes. A large Q-factor of 560 is obtained from the EL spectrum under 0.5 mA current.

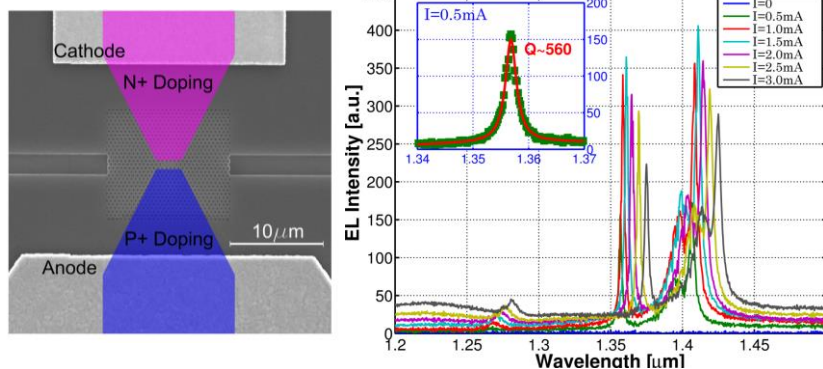


Fig. 2 (a) SEM image of lateral PIN diode current-injected light emitting diodes with photonic crystal nanocavity, (b) EL spectra of the device under different injected currents.

Related publications:

- [1] T. Tsuboi et al, E-MRS 2011 SPRING MEETING, Nice, France, May 9-13, 2011
- [2] T. Tsuboi et al, ICSI-7, Belgium, Aug 28-Sept 1, 2011
- [3] 徐, 宇佐美, 丸泉, 白木, 15a-GP1-6, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会
- [4] 成沢, 徐, 宇佐美, 丸泉, 白木, 16a-E2-5, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会
- [5] 千葉, 徐, 坪井, 宇佐美, 丸泉, 白木, 17p-GP12-4, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会

【研究背景、目的】

近年、半導体デバイスは、素子サイズ縮小化に基づく性能向上に限界が見え始めており、これに代わる革新的な技術開発が必要不可欠となっている。そのような中で、高移動度材料である Ge をチャネル材料に適用したデバイス開発が盛んに行われている。特に、Ge に結晶歪みを導入することで、キャリア移動度が大きく増大すると知られているが、歪み Ge のキャリア散乱機構については未だ不明な点が多く、これを解明することで、さらなる性能向上に繋がると考えられる。本研究では、低温・強磁場下において分子線エピタキシー装置(MBE)で成長した 20nm のチャネル層を有する歪み Ge チャネル変調ドーピング構造の磁気輸送特性を調べた。

【研究成果】

圧縮歪み Ge チャネル変調ドーピング構造は、Ge 組成 65% の SiGe 擬似基板上に作製した。SiGe 擬似基板上に 20nm の歪み Ge チャネル層、12nm または 20nm の SiGe スペーサー層をガスソース MBE で結晶成長させた。その後、B デルタドーピング層、30nm SiGe キャップ層、3nm Si キャップ層を固体ソース MBE で成長させた。図 1 に SiGe スペーサー層膜厚が 12nm と 20nm の歪み Ge チャネル変調ドーピング構造における正孔移動度と正孔密度の温度特性を示す。3K において、SiGe スペーサー層膜厚を増大させることで正孔移動度が増大していることが分かる。これは、リモート不純物散乱が抑制されたことを示している。一方、SiGe スペーサー層膜厚 20nm の試料において、室温での移動度スペクトル解析を行ったところ、 $3,120 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という世界最高正孔移動度（室温）を得ることに成功した。この試料を用いて、磁気輸送特性を調べた。図 2 は、1.7~9 K における縦抵抗(R_{xx})の磁場($1/B$)依存性を示している。確認されたシュブニコフ・ド・ハース(SdH)振動は単一周期ではなく、複数の周波数成分を持つ。これは、歪み Ge チャネル層中に形成される二次元正孔ガス(2DHG)において複数のサブバンドをキャリアが占有していることを示している。これを、フーリエ変換した結果を図 2 の挿入図に示す。二つのピークが見られており、各周波数成分から正孔密度を導出したところ、それぞれ $7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ と $6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ と見積もられた。両者の合計は、ホール効果から得られる正孔密度 $1.2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ (図

1)と比較的によく一致しており、2DHG 中のキャリアは、基底準位と励起準位の二準位を占有していることが分かる。このように、キャリアが複数の準位を占有している場合、各準位間のキャリア遷移は、フォノンを介するため、バンド間フォノン散乱が生じる。したがって、正孔密度を制御し、基底準位にのみキャリアを占有させることができれば、さらなる正孔移動度増大に繋がることが示唆される。

以上の結果は、リモート不純物散乱とバンド間フォノン散乱を抑制することができれば、さらなる移動度増大が期待できることを示しており、歪み Ge チャネル CMOS デバイスの実用化に向け、大きく前進したと言える。

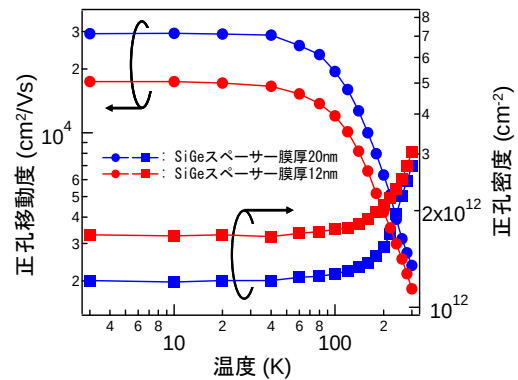


図 1. 歪み Ge チャネル構造における正孔移動度と正孔密度の温度特性

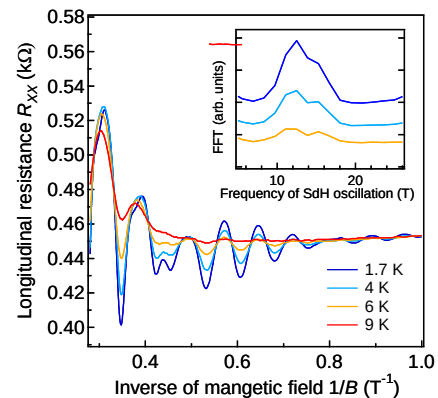


図 2. 1.7K~9K の温度領域における縦抵抗の磁場依存性と、それぞれの磁場依存性に対するフーリエ変換の結果

ナノカーボンバイオデバイス研究センター

1. センターの概要

文部科学省「平成 20 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」に採択された研究プログラムを遂行するための拠点としてセンターが開設されて 4 年間が経過した。そして、平成 24 年度が最終年度となる。

本研究センターは大きく 4 つのチームに分かれ、並列的に、また適宜チーム間の連携を取りながら研究を進行させている。

[チームA] カーボンナノチューブ(CNT)ベースのナノバイオセンサの開発・特性評価

「生体インターフェース」を目的としたバイオチップの開発において、CNT をベースとしたバイオチップの開発・作製を行うチーム。

[チームB] 量子効果型シリコンデバイスの開発・特性評価

CNT ベースとした CNT/Si-FET 及び CNT-FET の設計・作製及びその特性評価を行うチーム。

[チームC] 培養細胞を用いたナノバイオセンサの生体適合性・画像診断

CNT 及びバイオチップの埋め込み後、大気圧放電プラズマを用いて生体適合性の向上を図る研究を行っているチーム。

[チームD] 小動物を用いた生体埋め込み実験・評価及び画像診断

小動物を用いた埋め込み実験及びプラズマを用いたバイオチップ埋め込み部位の組織・細胞活性化についての実験・評価を行っているチーム。さらに、生体に埋め込んだチップからの情報の送受信やエネルギーの供給を行うための技術開発も行っている。

2. 平成 23 年度の顕著な研究成果

ここでは、平成 23 年度の顕著な研究成果を簡単に紹介する。

・マイクロ大気圧プラズマ源を用いた再生治療(チーム C+チーム D)

熱傷を起こしているラットに対して患部にプラズマ照射を行うことで治癒を早めることができることを確認した。プラズマ源から発生したイオン・ラジカルによる組織表面反応を含む電気化学的刺激が、線維芽細胞増殖因子と血管内皮細胞増殖因子を含む成長因子を活性化させ血管新生を促進し、熱傷患部の治癒を促進させたものと考えられる。

・生体親和型 CNT デバイスの設計(チーム A+チーム B)

CNT をベースとした CNT-FET を用いたバイオチップ設計・作製の前段階として、バイオチップのフォトマスクの設計・作製とプラズマ CVD 法を用いた CNT の直接成長・選択的位置制御の実験、評価を行った。ここでは、基板上配線(Al_2O_3)に CNT を設計通りに成長させる技術が要求される。CNT をプラズマ CVD 法により自己成長させた。CNT の成長は確認されたが、選択的成長を行うためには更なる方法の検討が必要であるとの結果を得た。

・生体内埋め込み型装置と外部装置間の無線方式による通信(チーム D)

皮下に埋め込んだ液晶ディスプレイに 3 次元コードを表示させ、それをカメラで捉えることで体内の生体情報を体外に無線伝送する手法を開発した。液晶ディスプレイは消費電力が小さく 3 次元コードには十分な情報を書きこむことが可能である等の特徴を有する。

3. 平成 24 年度の研究計画

各チームもしくはチーム間連携によって、「生体インターフェース」を目的としたバイオチップの実現が現実味をおびてきた。平成 24 年度は CNT-FET を用いたバイオチップをラットや小動物に長期埋め込みを行いその実用性を検証する。さらに、体内埋め込みチップへの無線による情報の送受信およびエネルギー供給を行うための「埋め込み大サイズの回路」の作製を行い、実際にラット等に埋め込む。そして、その回路の評価実験を行う予定である。これら実験が成功すれば、研究プログラムが設定した目標をクリアできることは言うまでもない。

2012年5月

ナノカーボンバイオデバイス研究センター

センター長 田口 亮

生体親和型カーボンナノチューブデバイスの設計に関する検討

加藤拓也、平田孝道、秋谷昌宏

カーボンナノチューブ(CNT)をベースとした電界効果トランジスタ(CNT-FET)を用いた生体信号検出用バイオチップの設計・作製及びその特性評価を行なっている。本年度、その前段階として、バイオチップのフォトマスクの設計・製作、並びにプラズマ CVD(Chemical Vapor Deposition:化学気相堆積)法を用いた CNT の直接成長及び選択的位置制御についての実験及び CNT の組成・構造に関する分析・評価を行った。

CNT-FET のゲート部分には電極を作製せずに CNT を用いることを想定している。素子は各々、チャンネル長： $L=5\sim 10\ \mu\text{m}$ (STEP： $1\ \mu\text{m}$)、チャンネル幅： $W=100, 500, 1000\ \mu\text{m}$ の全 18 種類をチップ内に収めた。一般的に、CNT は触媒金属に対して垂直方向に成長するが、ある程度の長さになると、反対の触媒部分に CNT が倒れるように架橋する。ゆえに、全 FET のチャンネル長 L は $5\sim 10\ \mu\text{m}$ に設計されているが、これは CNT が架橋できる距離の条件が約 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ であるためである。また、本バイオチップは、中央に素子、外側にパッドを配置した。これは、チップの中央に培地溜めを作製し、そこに生体信号検出のための神経細胞等を培養するためである。フォトマスクを用いて作製した基板の写真を図 1 に示す。

図 1 に示したように、予めパターンニングをした基板上配線 (アルミナ： Al_2O_3) に dip-coat 法を用いて触媒金属である Fe 粒子を担持させ、炭素供給源であるメタンを用いたプラズマ CVD 法により自己成長させた CNT の評価を行った。図 2 は、基板上に成長した CNT の SEM 画像であるが、 Al_2O_3 上に垂直方向に成長した CNT が観察された。さらに、 Al_2O_3 上の CNT に対してラマン分光測定を行った結果を図 3 に示す。この結果から、単層 CNT の直径が振動するモードであるラジアルブリージングモード (Radial Breathing Mode, RBM) ピークが観測されており、高純度単層 CNT が成長していることが確認された。しかし、 Al_2O_3 以外のシリコン表面領域でも微量の CNT が成長していることが判明した。この結果から、CNT の垂直方向成長は可能であるが、dip-coat 法による触媒金属粒子の担持方法を用いると、選択的成長を行うことが困難であるため、更なる方法の検討が必要であると考えられる。

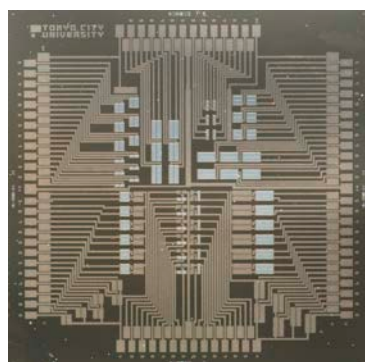


図 1. 基板写真

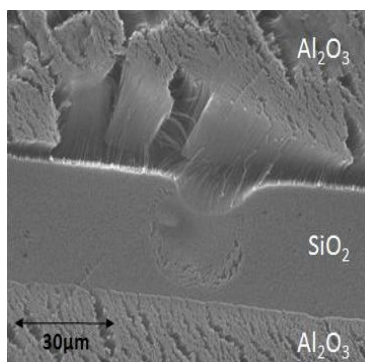


図 2. SEM 画像

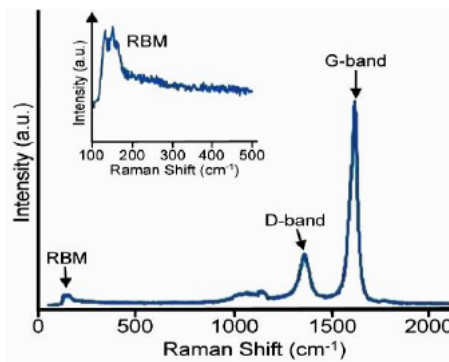


図 3. ラマン分光分析

マイクロスポット大気圧プラズマ源を用いた再生治療

岸本拓巳、筒井千尋、平田孝道、森 晃、秋谷昌宏

我々は、マイクロスポット大気圧プラズマ源を用いた生体組織・細胞への直接照射を行い、生体埋め込み型バイオチップの生体適合性向上への応用、並びに再生医療を視野に入れた“プラズマ医療”に関するメカニズム解明を目的とした評価・分析を行っている¹⁾。本年度は、ラットの背面に電気メスを用いて人為的に形成させた熱傷患部へのプラズマ照射を行い、熱傷の治癒過程において重要とされる新生血管の形成に着目した評価を行った。

実験は、全身麻酔を施したラット（種：ウイスター、飼育状態：無菌、性別：オス）の背面上に、電気メスを用いて人為的に熱傷を 2 箇所形成し、片側の患部のみに対してプラズマ照射を行った。熱傷形成 7 日後、新生血管の標識試薬である FITC トマトレクチン (Sigma Aldrich, Co. Ltd) を静脈から投与(0.25 mg)し、体循環の後に摘出した患部の組織から作製した切片標本を、共焦点レーザー顕微鏡 (Olympus, FW1000-D 及び BX61W) を用いて直接観察を行った。さらに、逆転写ポリメラーゼ連鎖反応 (RT-PCR) を用いて熱傷患部組織における線維芽細胞増殖因子(FGF-2)と血管内皮細胞増殖因子 (VEGF)の発現傾向を調査した。

図 4 は、熱傷患部から摘出した組織（真皮周辺）の切片標本を共焦点レーザー顕微鏡（蛍光励起レーザー波長 [Ex/Em : 488/515 nm]）を用いて観察した写真であり、プラズマ照射を行った組織では広範囲に亘って新生血管形成に起因した蛍光が観察された。さらに、図 5 の RT-PCR 及び電気泳動の結果、プラズマ照射を行なった組織は未照射に比べて FGF-2 及び VEGF の発現が多くのサンプルで確認された。以上の結果より、プラズマ照射による熱傷患部の殺菌・滅菌により治癒が促進されるのではなく、プラズマ源から発生したイオン・ラジカルによる組織表面反応を含む電気化学的刺激が FGF-2 及び VEGF を含む成長因子を活性化して血管新生を促進し、熱傷患部の治癒を促進させていると考えられる。

1) 平田 他：第58回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集、 p08-178 (2011)。

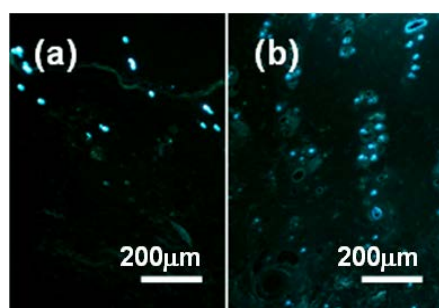


図 4. 染色された新生血管の観察写真
(a) 未照射、(b) プラズマ照射

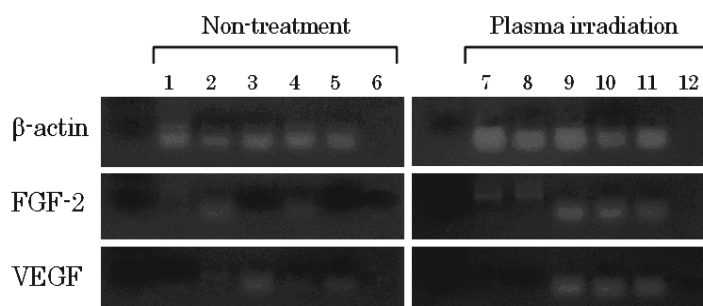


図 5. RT-PCR による増殖因子の発現
1-5：未照射, 7-11：プラズマ照射、
6, 12：ネガティブコントロール

大気圧プラズマ源から発生したプラズマの吸入による疾患治療

平田孝道、村田 茂、筒井千尋、近藤朱音、森 晃

我々は、マイクロスポット大気圧プラズマ源を用いた生体組織・細胞への直接照射を行い、生体埋め込み型バイオチップの生体適合性向上への応用、並びに再生治療も視野に入れた“プラズマ医療”に関するメカニズム解明及び応用を目的とした評価・分析を行っている。特に、プラズマ照射領域近傍における中性分子、イオン、ラジカルの挙動が細胞・組織の活性化に大きく関与していると考えられる。本年度は、細胞・組織の活性化に重要な役割を果たしている一酸化窒素 (Nitric oxide, NO) による疾患治療の観点から、心疾患及び呼吸器疾患の治療を目的としたプラズマ吸入による実験・評価を行なった。

実験に用いた小動物はミニブタ (性別: メス) であり、ガス麻酔による無意識下状態にて実験を行った。図 6 に示すように、カテーテル型 NO センサを腹部大動脈に挿入した血管造影用カテーテルの末端から直接導入し、プラズマを直接肺に吸入した時の血液中 NO 濃度の測定を行った。また、カテーテル末端に接続した血管内圧 (血圧) は、血圧測定用マイクロ圧力センサにより測定した。さらに、吸入効果の比較・検討を行うため、医療用高濃度 NO ガス (濃度: 930 ppm) を用いた。

血圧測定の結果、図 7(a)に示すように、He ガス吸入の場合には血圧に変化がみられなかったが、プラズマ吸入では血圧の降下 (最高/最低: 110/65 mmHg → 90/40 mmHg) がみられた [図 7(b)]。比較のために行なった高濃度 NO ガス吸入においても血圧の降下 (最高/最低: 125/90 mmHg → 105/50 mmHg) がみられ、一般的に報告されている NO による血管拡張作用に起因した血圧降下が計測された。さらに、血液中の NO 濃度測定においても、NO が検出されたのみならず、血圧降下と同様の時間変化をすることが判明した。ゆえに、プラズマ吸入と高濃度 NO ガス吸入では、同様の血圧変動がみられたことから、NO に起因した血圧降下であると考えられる。特に、プラズマ吸入における大気中 NO 濃度が高濃度 NO ガスに比べて非常に低い (プラズマ: 0.5 ppm 以下、NO ガス: 10 ppm 以下) ことから、肺から吸収された NO ではなく、肺胞内の肺上皮細胞もしくは血管内皮細胞で産出された NO の可能性が大きいと考えている。

従って、実験にて得られた NO に起因した血管拡張による血圧降下は、狭心症や心筋梗塞などの心疾患、並びに原発性肺高血圧症や新生児遷延性肺高血圧などの呼吸器疾患の治療に有効であると考えている。

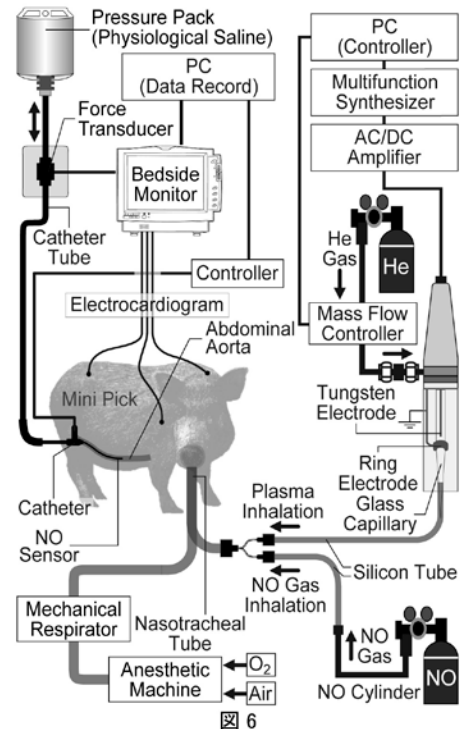


図 6

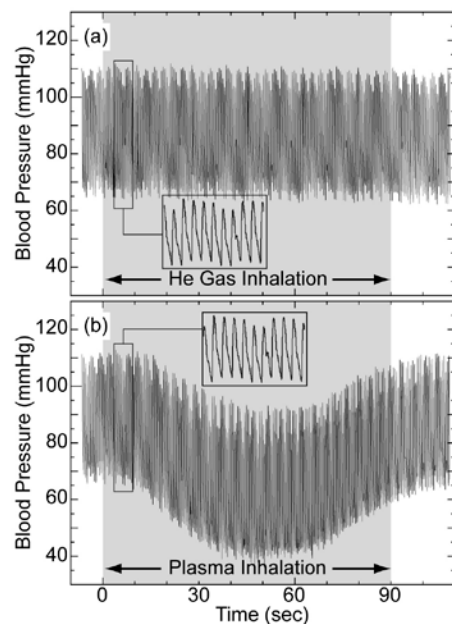


図 7

埋め込み型信号検出・伝送回路の開発

生体医工学科 京相雅樹, 島谷祐一

1. 研究概要

ナノカーボンバイオデバイス研究センターのチーム D では生体内埋め込み回路による生体計測に関する研究を行っている。平成 23 年度の研究として光電力伝送を用いた埋め込み型脳波インターフェイス開発[1], エネルギーハーベスト技術を用いた体内における電力生成の検討[2], 3 次元コードによる体内からの情報伝送の検討[3]を行ったので報告する。

2. 研究内容

2.1 光電力伝送による埋め込み型脳波インターフェイス

近赤外光により外部からの電力供給を受けて動作し, 頭部皮下に埋め込んだ電極を介して計測した脳波を無線伝送するシステムの開発と長期の埋め込み実験を行った。図1に見えるプラスチックモールドされた送信回路のサイズは約 $7 \times 6 \times 2\text{mm}$ であり, これを頭部皮下に埋め込み, 生体外より近赤外線を照射した状態で後肢を刺激し, その際に回路から送信される脳波を計測した。図2に示すように, 装置は埋め込み後 6 週間を経過しても正常に動作しており, 埋め込み状態での長期間計測が可能であることが示された。



図1 装置の埋め込み状況

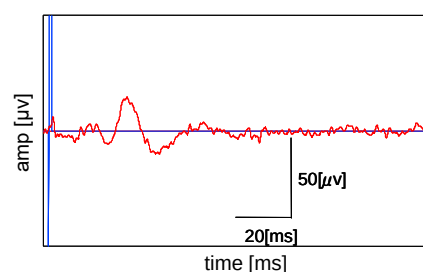


図2 埋め込み 6 週間後の誘発脳波

2.2 エネルギーハーベスト技術を用いた体内電力生成

体内に存在するエネルギーを電気エネルギーに変換することにより, 電池あるいは体外からの供給なしに電力を自給できると考え, 発電素子として埋め込みに適した柔軟なピエゾフィルム(図3)について発電能力の評価を行った。ピエゾフィルムは一端を固定し, 他端を往復運動させて歪みを与え, 抵抗を負荷として発生電力を計測した。その結果往復運動のストローク 3cm, 周期 2.55Hz で $4.7\text{M}\Omega$ としたときに最大電力 $2.30\mu\text{W}$ が得られた。次にその出力を安定化した後, 埋め込み電子回路の代替として電卓に接続したところ, デューティ比 14.4%での間欠動作を確認した。今後は取り出し電力の増強を検討する。



図3 ピエゾフィルム



図4 3次元コード

2.3 3次元コードによる体内からの情報伝送

体内で得られた信号波形などを体外に伝送する目的で, 皮下に埋め込んだ LCD(液晶表示器)に時間変化する 2 次元コードを表示し(図4), これを体外から画像として取得して処理することにより波形を復元するという手法を提案し, 手法の妥当性を検証した。マイコンにより制御された LCD の出力を動画撮影して復元した結果, 波形を伝送できることが確認された。次に, 皮下への埋め込みを想定して近赤外と赤色光下での動作実験を行った。LCD の光学特性のため, 近赤外ではコードパターンの撮影はできなかったが, 赤色光では可能であったことから, 今後は赤色光での皮下埋め込み実験を行ってゆく予定である。

参考文献

- [1] 上林眞弓, 京相雅樹, 島谷祐一, 皮下埋め込み型インターフェイスによる脳波計測, 生体医工学, Vol.49, Suppl. 1, P3-2-8 (2011.5).
- [2] 小野彰大, 島谷祐一, 京相雅樹, 体内埋め込み型回路への供給を目的としたエネルギーハーベスト技術による筋活動からの電力収集, 第 12 回 SI 部門講演会論文集, 1H4-6, pp.595-597, (2011.12)
- [3] 崎村広一, 京相雅樹, 島谷祐一, 3次元コードを用いた埋め込み型機器からの生体信号無線伝送方式の提案, 第 12 回 SI 部門講演会論文集, 1H4-5, pp.592-594, (2011.12)

環境影響評価手法研究センター

環境影響評価手法研究センター概要

地球規模問題に対する製品環境政策の国際的推進を支援するライフサイクル経済評価手法の開発

スターンレビューや TEEB レポートといった地球規模問題に対する環境政策意思決定に多大な影響を与えている報告書は、いずれも環境影響を経済指標で表現することで、ステイクホルダー間の環境コミュニケーションを容易化している。しかし、これらは世界や地域を対象とした影響予測であり、企業による自社製品の設計や個人のライフスタイルの見直しに直接活用することを意図していない。

製品等を対象にライフサイクルの視点から評価するライフサイクルアセスメント（以下 LCA と呼ぶ）は、その手順が国際規格化され、すでにわが国の主要産業で広く活用されている。しかし、既存の先駆的手法は、評価対象地域が欧州と日本、北米に限定されているとともに、開発者が独自に定義した評価指標が用いられるため、LCA が環境コミュニケーションツールとして十分機能しておらず、わが国の優れた環境技術が国際的に認知されない要因となっている。

本センターでは、わが国の企業が汎用的に利用する環境影響評価手法 LIME(Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)を「世界化」に向けて発展・拡張させるための研究を行う。以下に本提案研究で達成すべき目標を示す。

第一に、地球規模の環境問題を対象として、環境負荷の発生から人間健康や生態系への被害量までを関係づける評価モデルを開発する。ここでは地球温暖化、水資源、生物多様性を地球の持続可能性を保持するうえで重要な問題を取り上げ、世界各国で発生する環境影響を評価できるようにする。第二に、人間健康と生態系それぞれの環境影響を被害指標で表現する。人間健康への影響は損失余命で表し、生態系に対する影響は生物種の絶滅リスクで示す。エンドポイントに注目した潜在的な被害量で表示することにより、環境影響の経済指標化を行う際の透明性を向上する。

第三に、環境影響の経済価値化を行う。コンジョイント分析を用いて世界10地域の支払意思額を求める。これにより、経済・社会・文化的な違いを考慮した環境経済評価手法を構築することができる。

第四に、本研究で開発した新手法を簡便に利用できるソフトウェアを開発する。これにより、誰でもあらゆる製品を対象に環境負荷量（例えば CO2 排出量、水の消費量、原油の消費量など）が得られていることを条件に、環境影響（例えば、健康被害量、絶滅リスク増分、経済影響など）の評価を実施できる。

第五に、地球規模で事業を展開している企業と連携して事例研究を実施するとともに、本研究の成果を検証すると共に、その公開を進めて新手法のデファクトスタンダード化を目指す。

本研究を通じて、わが国で生産される製品や海外で実施される CDM プロジェクトなどを対象に汎用的に分析できるほか、「新成長戦略(基本方針)」において挙げられた「Well-being を考慮した新しい環境指標」を提案し、わが国の新しい価値観を世界に発信することが可能になる。

本センターで提案する手法は世界全域を網羅するため、グローバル企業が簡便に世界各地で発生する環境影響を反映した評価を行うことができる。企業の環境担当者は、本手法の内容と利用方法を理解し、自社製品の評価経験を活かして環境コンシェルジュとして企業内、関係企業、相手国に説明することができる。

2012 年 5 月

環境影響評価手法研究センター
センター長 伊坪 徳宏

環境影響評価手法研究センター
平成 23 年度研究成果報告

環境影響評価手法研究センター
センター長 伊坪 徳宏

平成 23 年度では、以下の事項について検討した。

(1) 地球規模問題の被害評価手法の開発 (地球温暖化、水消費)

地球温暖化と水資源の消費による被害評価手法の開発を行う。以下に地球温暖化による生物多様性の被害評価の開発方法を示す。(i)最新の第四次 IPCC 報告書で採用された気候モデル (MAGICC) を利用し、温室効果ガス 1 単位排出量増加に伴う気温と降水量の変化量を求める。(ii)絶滅リスク評価モデルを全球規模で評価できるように修正し、気温・降水量変化から被害量までを評価する。(iii)世界各地の絶滅危惧種の生息状況を統計資料から採用し、評価モデルに適用する。これを世界規模の評価に展開する。

(2) 環境影響の経済評価手法の開発

人間健康と生態系の被害量を経済価値として表現するための分析を行う。当該年度では、調査票の作成とプレテストを実施する。先進国と発展途上国を 1 地域ずつ取り上げ、面接調査を実施しこれらを統計解析することで環境影響の経済価値化を行うとともにそれぞれの結果を比較、考察する。

研究の実施状況

(1) 地球温暖化の被害評価手法の開発 (地球温暖化、水消費)

地球温暖化における被害評価では、人間健康と生物多様性に対する影響をそれぞれ算定した。健康影響については、CO₂ 排出による被害量を疾病ごと (栄養失調、下痢、心血管疾患、マラリア、海岸洪水、内陸洪水) に算定した。気温変化による直接影響(心血管疾患(0.4×10^{-8} 年/kgCO₂))よりも、従来の研究では考慮されていなかった二次災害である栄養失調(26.8×10^{-8} 年/kgCO₂)や下痢(9.0×10^{-8} 年/kgCO₂)の影響のほうが大きく、これらの影響量を評価に含めることの重要性を確認した。

生物多様性に対する被害評価では、統計モデルを用いて日本に生息する 250 種の植物を対象に気候変化による植生分布の変化を分析し、絶滅までの余命を求めた。地球温暖化による生物種の絶滅リスクを算定した研究は LCA では世界で初めてである。

水資源消費では健康影響評価手法を開発した。世界各国における統計資料を基にした重回帰分析の実施により、淡水の消費に伴って発生する健康被害者数の期待値を国ごとに求めた。先進国や水資源量が比較的豊富な国(例えば日本は 3.9×10^{-11} 年/m³)に比べて、途上国で、かつ、水不足が深刻な国 (例えばキューバは 1.6×10^{-4} 年/m³) は被害量がきわめて大きく、その偏在性の高さを定量的に示すことができた。

(2) 環境影響の経済評価手法の開発

本年度は発展途上国の住民が調査票の内容を理解できるか検証することを目的として、新興国もしくは途上国 (中国、ケニア、南アフリカ、ベトナム) を対象にプレ調査を実施した。世界における年間の環境影響量を試算した結果を六地域 (東アジア・中国、東南アジア、西アジア・北アフリカ、中南アフリカ、北南米、欧州・ロシア) に分類した後、各国言語に翻訳した調査票を作成した。各国 50 サンプルから得た調査結果を統計解析して、統合化係数を求めた。いずれの国も環境属性について統計的に有意な結果を得たことから、調査票の内容を理解し、自らの環境思想を回答できることを確認した。これにより、世界規模に拡張した分析の実施可能性を見出すことができた。

水素エネルギー研究センター

水素エネルギー研究センター概要

水素エネルギー研究センターは、武蔵工大が永年行ってきた水素エンジンの研究を継続して行っている。地球が抱えている3大課題である地球温暖化、大気環境の汚染化、エネルギー資源の枯渇化を解決する手段の一つとして、水素エネルギーは、太陽光、風力などの再生可能エネルギーから製造することができ、かつ排出物がクリーンであることから、エネルギーを大量に消費する運輸用原動機や家庭用分散型発電用に用いる研究開発に力が注がれている。

本研究センターにおける研究も、このような世界の水素エネルギー活用技術開発の動きの中で重要な役割を占めており、平成17年度から国土交通省の（独）交通安全環境研究所からの委託により、大型バス／トラック用水素エンジン動力システムの試作開発の研究を行ってきた。この研究は、武蔵工大が永年培ってきた水素エンジンの技術力を活用し、車両走行を行うことのできるエンジンシステムの開発を目標としており、研究活動の範囲は水素エンジン本体の研究開発、エンジンに用いる高圧水素噴射弁とポンプの開発さらにはエンジンを車両にて走行させるために必要な燃料噴射や窒素酸化物など有害排出物を軽減させるエンジンのトータル制御システムの開発を、一貫してかつ独自技術で、現在は独自費用で行っている。

車載燃料を液体水素にした液体水素燃料供給システムの課題である高圧液体水素ポンプ、燃料タンクからのボイルオフ水素を再液化することによりゼロ化するためのパルス管冷凍機の開発など、基礎的な研究も平行して行っている。

2011年度、水素エネルギー研究センターでは、水素エンジンの基礎研究として、昨年に引き続き単気筒エンジンによる「直接筒内噴射水素エンジンの燃焼の研究」、「水素噴射の可視化の研究」および「水素燃料を使った均一混合気圧縮着火の研究」を実施し、直接筒内噴射水素エンジンの燃焼コンセプトを確立するという大きな成果を得ることができた。また、水素燃料供給系および水素エンジンの実用化研究として、昨年に引き続き「コモンレール式高圧水素ガス噴射弁の研究開発」、「開発したコモンレール式高圧水素ガス噴射弁を使って多気筒エンジンでの性能研究」、「リーンバーン過給水素エンジンの研究開発」、「液体水素高圧ポンプの研究開発」、「パルス管冷凍機の研究」（総合研究所水素自動車実用化研究室で実施）および「スズキ社製ワゴンRのバイフューエル自動車製作共同研究」を実施し、コモンレール式高圧水素ガス噴射弁の200時間の耐久性の確認、リーンバーン過給水素エンジンの有効性の検証、液体水素高圧ポンプの20MPa吐出技術の確立、バイフューエル自動車製作共同研究での高圧水素ガス燃料供給システムの認定試験合格、パルス管冷凍機での性能データの再現性確認等多大な成果を得ることができた。2012年も水素エネルギー研究センターでは、水素自動車の実用化に向けてほぼ同じ研究を実施する計画である。

2011年度に水素エネルギー研究センターが外部発表した研究成果のリストとアブストラクトを次頁以降にまとめて示す。

2012年5月

水素エネルギー研究センター
センター長 武 哲夫

重点推進研究
地震リスクマネジメント研究室

地震リスク曲線で読み解く都市防災

重点推進研究 地震リスクマネジメント研究室 吉川弘道

➤ 地震リスク曲線によるリスクの定量的認知:

地震リスク (Seismic Risk) は、地震の発生確率とその時の被災規模の両者を勘案した工学的リスクとして定義される。これは、建設地点の地震ハザード解析および対象構造物の地震損失関数（または脆弱性曲線）の両者より算定される。特に、周辺域の全震源（シナリオ地震）に対して解析することにより地震リスク曲線が得られる。地震損失（損失額、損失率、機能停止期間）の超過確率を与えるもので、図1の事例のように右下がりの単調減少関数となる。ここでは、鉄筋コンクリート橋脚1基の地震リスク解析（建設サイト/東京）の地震イベントリスク曲線を例示した。

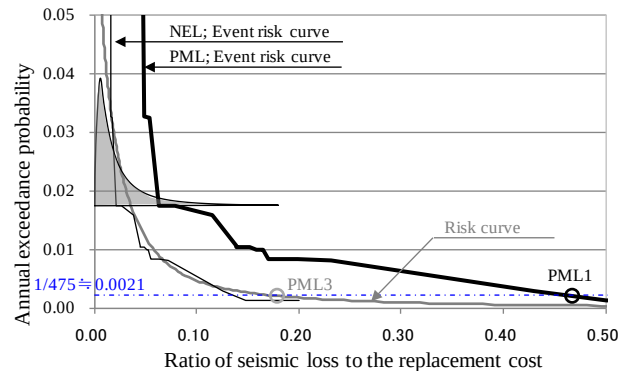


図-1 RC 橋脚の地震リスクイベント曲線
(横軸/損失率, 縦軸/超過確率)

➤ 定点リスクから線状リスクへの拡張:

上述のような定点リスクから鉄道/道路施設への展開（線状リスク）を紹介したい。この場合、物的損失については総和則（線状各施設の合算）にて算定され、機能停止期間を考える場合、ただ1個所の被災により、路線全体の機能不全を招く。この場合、対象路線を直列/並列要素の混在路線としてモデル化し、システム信頼性理論（直列モデル/Max 演算、並列モデル/Min 演算）の適用により、合理的に解析することができる。図2は、東京西方に設定した総延長 100km の通勤路線に対する復旧曲線を表すものである。

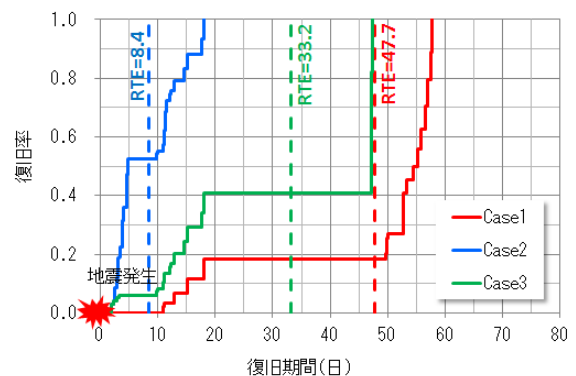


図-2 システムリスク解析に基づく復旧曲線
(横軸/損失率, 縦軸/復旧期間)

➤ 依頼論文(日刊工業新聞, 土木学会誌):

- ・ 吉川弘道：性能設計と地震リスク評価：防災減災技術を支えるソフト技術の両輪
(建設産業特集：防災・減災に欠かせない建設の力
3) 日刊工業新聞 (2012 年 2 月 22 日)
- ・ 吉川弘道：記事 3：地震リスクで考える都市防災

-リスクの定量化と可視化への挑戦 -震災特集②東日本大震災-災害リスクマネジメント-, 土木学会誌 2 月号, Vol.97 No.2 48-51 (2012.2)

粉末冶金材料開発研究室

H 2 3 年度粉末冶金材料開発研究室報告

1. 研究テーマ

粉末冶金材料開発研究室においては、粉末冶金技術をベースとして以下に示すテーマで新たな材料開発を進めている。

1) H23 年度科研費 基盤研究 (B) 反応制御硼化物基脱タングステン高強度硬質耐摩耗材料の創製 (H23-25 年度)

中国は、W の世界の鉱石産出量の 85%以上のシェアを有し、脱 W、省 W の超硬合金と代替可能な硬質耐摩耗材料の開発が急務である。本研究では、脱 W、省 W の WC と同等あるいは優れた特性を有する TiB_2 などの高硬度硼化物を単独あるいは炭化物と複合化した、切削工具用脱タングステン新規高強度硬質耐摩耗材料を創製することを目指す。

本プロジェクトにおいては、硼化物をベースに以下のテーマで研究を行っている。

- ① W_2NiB_2 -Ni 系高硬度・高強度サーメットの開発
- ② TiB_2 系サーメットの開発
- ③ TiC - TiB_2 系サーメットの開発
- ④ $Ti(CN)$ - TiB_2 系サーメットの開発

本年度は、反応制御焼結装置を導入するとともに、 W_2NiB_2 三元硼化物単体の物理的特性を調査し、WC と同等の特性を有することを確認するとともに、 TiC ($Ti(CN)$) - TiB_2 系サーメットの開発では、強度的には不十分であるが、強度および組織は十分超硬合金代替材料となりうることを見出した。

2) 鉄系焼結体の粒度分布調整による特性改善

コストアップになる合金元素添加ではなく、粉末の粒度分布を調整することで、Cr 系低合金鋼粉末焼結体の高密度・高強度化を目指す。(受託研究) 今年度は、粒度分布の調整だけではなく、低合金鋼粉末に付着するサテライト粒子が粉末の充填密度、焼結性および焼結強度等に大きな影響を及ぼすことを見出した。

3) 自溶合金コーティング

自溶合金粉末を、溶射ではなくスラリーコーティング後高周波加熱により硬質コーティング被膜を形成する方法を開発する。(受託研究) 今年度は、再現性に問題はあるが、気孔率の少ない皮膜の作成が可能になり、今後はさらに製造方法の検討を行う。

4) $MgAlB_{14}$ 基熱電材料の開発

高い熱電特性が報告されている P 型の $MgAlB_{14}$ 系熱電材料において、再現性良く N 型特性を有する材料を開発した。

2. 研究業績

- 1) 論文 (査読有) : 1 件
- 2) 国際学会発表 : 7 件 (内 1 件は招待講演)
- 3) 国内学会発表 : 3 件

2012 年 5 月

粉末冶金材料開発研究室

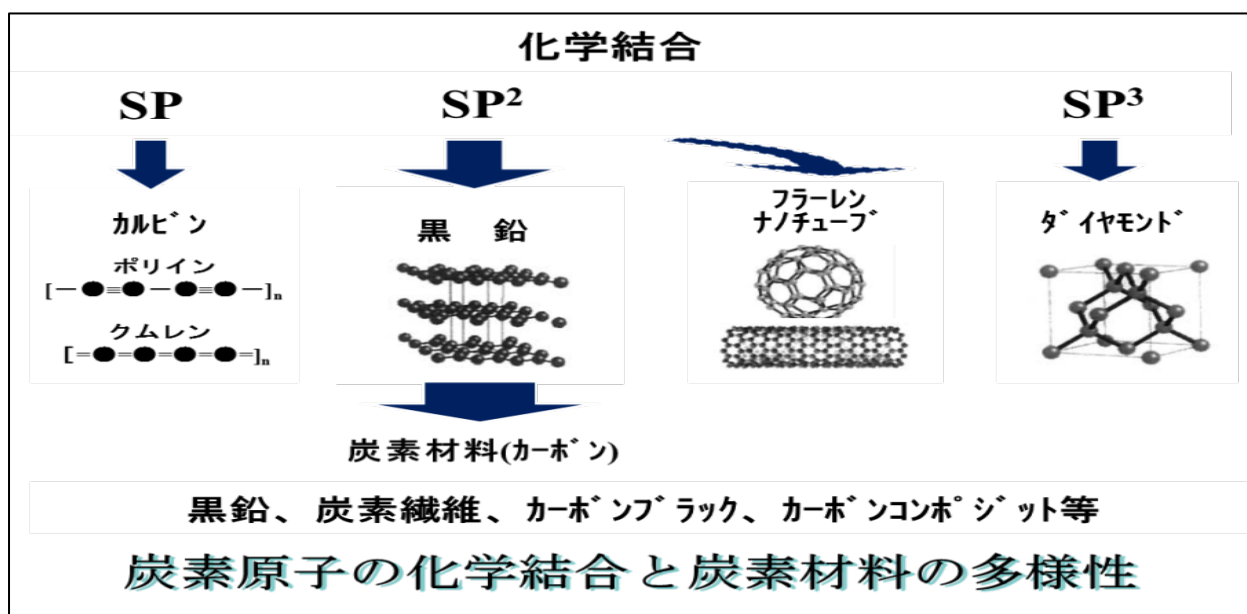
高木 研一

カーボン材料解析研究室

カーボン材料構造解析研究室

本研究室はカーボン材料やナノカーボン材料の構造解析と評価、および分析手法の開発が主な研究内容である。その他、新しい触媒によるカーボンナノチューブの合成等も行っている。

カーボン材料は古くて新しい材料と言われ 100%の炭素原子 (C) から構成されており、その結合には下図に示すように sp^1 、 sp^2 、 sp^3 配位の結合が存在し、炭素原子の並び方 (構造) や炭素分子の並び方 (組織) の様々な組み合わせが可能である。 sp^1 配位では直鎖状分子 (カルビン)、 sp^2 配位では無配向炭素 (例えば木炭) から配向性炭素 (黒鉛結晶)、特殊な構造では C_{60} (フラーレン)、ナノチューブ、 sp^3 配位ではダイヤモンドというように様々な構造と性質のカーボン材料が存在する。



特に sp^2 配位の結合のカーボン材料は古くから燃料 (木炭、コークス) や消臭剤 (活性炭)、鉛筆 (黒鉛) などに使用されているが、最近では人工有機物の高温熱処理 (カーボンファイバーなど) や炭化水素などの蒸気から生成 (気相成長ダイヤモンドなど) され、その特性が軽く、強く、対薬品性、熱および電気伝導性が良いことなどから多種多様な最先端の材料として使用されており、さらなる新たな構造と性質のカーボン材料が開発される可能性は大である。このようなことから、カーボン材料構造の解析と評価および分析手法の開発は極めて重要である。また、キャパシター、Li イオン電池、燃料電池などの電極などに使われている炭素材料の劣化状態などの解析も重要である。

カーボン材料の構造解析には本学機器分析室の透過電子顕微鏡 (TEM)、走査電子顕微鏡 (SEM) X 線回折装置 (XRD) やラマン分光分析 (Raman) などを使用し、その構造と組織を解析、評価を行っている。

その他、外部研究機関、他大学との共同研究においてカーボン材料の構造解析を行ったり、企業、卒業生などからの依頼により、一般製品、部品の不良や故障の原因を解析し、改良のためのアドバイスなどを行なっている。

2012 年 5 月

カーボン材料構造解析研究室

吉 田 明

無煙炭における不均一黒鉛化---ラマンスペクトル測定による検討

吉田 明, 鐺木 裕, 菱山幸寿

1. はじめに

無煙炭を 2400°C 以上の温度で熱処理すると、フレークと細粒に破碎される。個々の細粒やフレークは単相とみられるが、地層中での無煙炭の生成過程は複雑なものであるから、フレーク試料の場合は試料表面において結晶構造に相当のばらつきがあると推測される。炭素材料の熱処理過程における結晶構造の推移は面間隔 d_{002} を用いて行われるが、個々のフレーク表面における位置の微小変化に伴う d_{002} の変化を X 線回折法によって検討することは困難である。無煙炭熱処理フレークは面配向材であるので、試料表面における d_{002} は、Kapton 炭のラマンスペクトル G バンドの半値幅 G-FWHM の試料表面において得られる d_{002} との関係を適用して評価することができる。本報はこの方法により、無煙炭熱処理フレーク上のレーザー光ビーム照射位置を変えてラマン 1 次および 2 次スペクトルを測定し、 d_{002} (評価値は以後記号 d^*_{002} で表す) の変化を考察した。ラマン 2 次スペクトル測定は黒鉛化の進捗状況のプロファイル的に見られることにある。

2. 試料と測定

出発試料 (ホンゲイ無煙炭) は揮発分除去のために窒素気流中、昇温速度 10°C/min で 900°C まで昇温し、900°C で 1 時間保持した。揮発分除去熱処理終了後も塊状体形状は保持された。900°C 処理試料の熱処理はアルゴン気流中で 2300-2800°C の各温度に 30 分間保持することによって行った。ラマンスペクトルは、径 2~3 mm のフレーク試料に対し、JOBIN YVON 製のレーザーラマン分光光度計 RAMANOR T-64000 を使用し、照射レーザー光に波長 514.5 nm の Ar レーザー光を用いた。照射レーザー光ビームの径を 1 μ m, その試料面パワーを 0.2 mW とした顕微測定系により、1 次および 2 次スペクトルを全体として 20 sec の 2 回積算を行うことによって測定した。試料表面の光学顕微鏡像の例を Fig. 1 (試料 H2600A) に示す。レーザー光ビーム照射位置 (6 点) は番号を丸囲み数字 ①~⑥で示した。

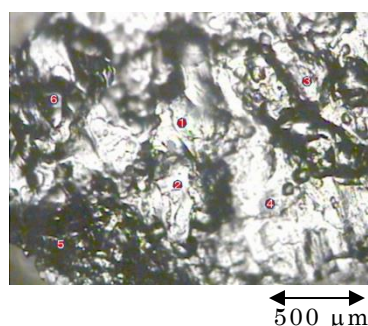


Fig. 1. Optical microscope image of sample H2600A.

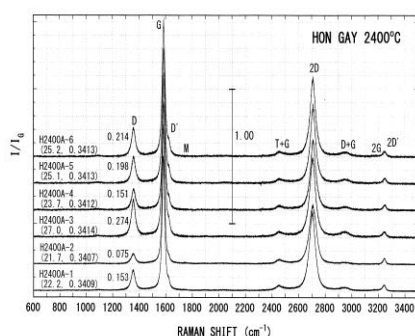


Fig. 2. 1st and 2nd order man spectra for 2400°C-treated sample.

3. 結果と考察

Fig. 2 に測定されたラマンスペクトルを例示する (2400°C-処理試料)。図において各バンドのピーク強度は G バンドの強度に対する相対強度で表わし、各試料の試料名とレーザー光ビーム照射位置ならびに対応する一組の G-FWHM 値 (cm^{-1} 単位) と d^*_{002} 値 (nm 単位) を括弧内に示した。また、D バンドのピーク付近に記した数値は試料のレーザー光ビーム照射位置における強度比 I_D/I_G 値を表す。図において、 I_D/I_G ならびに 2 次スペクトルは試料が d^*_{002} 値の異なる乱層構造の結晶子からなっていることを示す。

ホンゲイ無煙炭試料の d^*_{002} 値が X 線回折法によって得られる d_{002} 値に近いことは、強度比 I_D/I_G を d^*_{002} に対してプロットし、カプトン炭 (KAP) における I_D/I_G の対 d_{002} プロットに重ね合わせることでうかがうことができる。重ね合わせたプロットを Fig. 3 に示す。Table 1 および Fig. 3 は、無煙炭においては不均一黒鉛化 (多相黒鉛化) が起こっていることを示す。

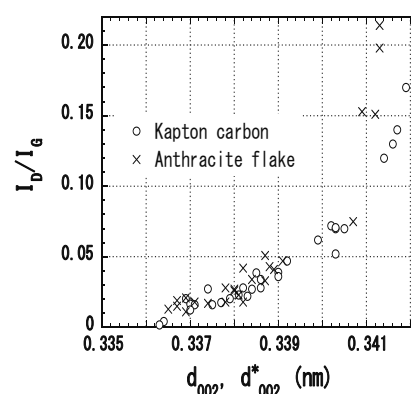


Fig. 3. I_D/I_G for Kapton-derived carbon films plotted as a function of d_{002} and that for anthracite samples as a function of d^*_{002} .

インキュベーション・ラボ

健康 · 医科学研究室

1. はじめに ～学術研究と企業の研究の融合で、保健・医療・環境への貢献を～

健康医科学研究室は2008年7月1日にコスモ石油（株）とSBIホールディングス（株）の合弁会社であるSBIアラプロモ（株）の研究開発部門との共同研究施設として設立され、同年10月22日の第20回総研セミナーにて研究室ならびに研究内容の紹介を行い、2011年6月28日には3年間の研究の成果総括報告会を行って研究室を閉じた。当初は、コスモ石油研究所も参加し、総研を中心に広く研究を進める予定であったが、研究室が手狭になった事や東日本大震災による計画停電、研究室の利用時間の短縮などがあり、研究の拠点を神戸に移した。

当研究室では、すべての生命の根源物質である5-アミノレブリン酸（ALA）の多機能性について解明し、人類の健康・医療・福祉と地球環境の保全に貢献すべく、さまざまな方向性からのアプローチを行った（ALAの生理的意義及び研究の目的・内容については2010年度の報告書に記載したので参照されたい）。

以下に3年間の研究成果並びに研究業績を挙げた。

2. 研究内容及び成果

1. ALAplusに関する研究

- 1) 健康：5種類の栄養サプリメント並びに2種類の化粧品の開発及び商品化を行った。
- 2) 医療：がんの早期診断法の開発並びに診断・治療薬の開発を行い、医薬品の申請を行った。
- 3) 福祉：東北大震災の被災者へのサプリメントの供給といったボランティア活動を行った。
- 4) 環境：コスモ石油との共同研究にて、ALA入り肥料（ペンタガーデンなど）の成長促進効果、都市の緑化促進、砂漠化防止等など、学術研究および広報活動を推進した。

2. 遺伝性ポルフィリン症（難病）に関する研究

- 1) 全国疫学調査：日本国内の遺伝性ポルフィリン症患者の実態を明らかにし、診断及び治療ガイドライン案の作成を行った。
- 2) 早期診断法の開発ほか：遺伝性ポルフィリン症の早期診断法を開発し、全国疫学調査を行った。また、治療法の開発、未承認薬の認可申請等を行った。

3. 研究業績

1) 学術研究業績数総計：83件

編著書数（Aminolevulinic acid, Science, technology and application, Tokyo Institute of Technology Press, SBI ALApromo, ページ数）191 など11冊出版、学術研究成果報告集：3冊出版、学術論文数（PLOS ONE など査読付）21論文、学術会議発表：48件（国際会議：7件、国内シンポジウム：6件、国内学会：35件）

2) 新聞・雑誌、TV報道など報告：22件

3) 競争的資金等研究費（厚生労働科学研究費等）：5,700万円

4) 国内外の共同研究者及び研究協力者数：約500名

2012年5月

健康・医科学研究室 近藤雅雄

平成 23 年度は東日本大震災の影響を受け、6 月には研究拠点をやむなく神戸の方に移転することとなった。研究の方は昨年度に引き続き、10 数名の研究員で ALA を有効成分とする医薬品、化粧品及び健康食品の研究開発を精力的に行った、新規に健康食品 2 品を開発し商品化した。これらの商品については平成 24 年度モンドセレクション金賞、銀賞を受賞した。また、ALA を投与して血漿および尿中のポルフィリンを測定することによるがんのスクリーニング法の開発を行い、早期診断に有用であることを確認した。以下に、主な著書及び論文発表を記載した。また、多くの学会への口頭発表並びにマスメディアでの研究およびその成果が紹介については紙面の都合にて省略する。

著書

1. Kondo M : Abnormal porphyrin metabolism, In: Aminolevulinic acid - Science, Technology and Application in Agriculture and Healthcare, pp.11-22, eds I.Okura and T.Tanaka , Tokyo Institute of Technology Press, Tokyo, 2011.
2. Muranyi A, Tanaka T : Application of aminolevulinic acid fertilizers for plant production in EU countries. In: Aminolevulinic acid - Science, Technology and Application, pp.43-53, eds I.Okura and T.Tanaka , Tokyo Institute of Technology Press, Tokyo, 2011.
3. Takeuchi Y, Li J, Tanaka T : Studies on agricultural utilization of aminolevulinic acid in Japan. In: Aminolevulinic acid - Science, Technology and Application, pp.56-74, eds I.Okura and T.Tanaka , Tokyo Institute of Technology Press, Tokyo, 2011.
4. Ishizuka M : Effect of 5-aminolevulinic acid on hair growth. In: Aminolevulinic acid - Science, Technology and Application, pp.90-100, eds I.Okura and T.Tanaka , Tokyo Institute of Technology Press, Tokyo, 2011.
5. Inoue K : Photodynamic diagnosis of bladder cancer for surgical treatment. In: Aminolevulinic acid - Science, Technology and Application, pp.141-146, eds I.Okura and T.Tanaka , Tokyo Institute of Technology Press, Tokyo, 2011.
6. Inoue K : Development of medical devices for application of aminolevulinic acid. In: Aminolevulinic acid - Science, Technology and Application, pp.177-191, eds I.Okura and T.Tanaka , Tokyo Institute of Technology Press, Tokyo, 2011.
7. 近藤雅雄 : 臨床検査ガイド 2001～2012～これだけは必要な検査のすすめかた・データのよみかた、文光堂、東京、2011

論文

1. Yasuma A, Ochiai T, Azuma M, Nishiyama H, kikuchi K, Kondo M, Handa H : Exogenous coproporphyrin III production from Corynebacterium aurimucosum and Microbacterium oxydans in erythrasma lesions, Journal of Medical Microbiology 60: 1038-1042, 2011
2. 近藤雅雄、網中雅仁、石塚昌宏 : 遺伝性ポルフィリン症の生化学診断法および診断基準案の作成, ALA-porphyrin-science 1: in press, 2011
3. 井上克司 : 5-アミノレブリン酸を用いた腫瘍の光動力学診断のための医療機研究機器、Medical Science Digest 38(4):30-34, 2112.
4. 宮成節子、高橋真純、石塚昌宏、佐々木幹夫、森川祐司、野村護、土屋京子、田中徹 : 5-アミノレブリン酸リン酸塩のラットにおける 13 週間反復経口投与毒性試験、薬理と臨床 39(5):513-524, 2011.
5. 宮成節子、石塚昌宏、原洋明、野村護、太田麗、田中徹 : ラットにおける 5-アミノレブリン酸リン酸塩の経口投与による受胎能および着床までの初期胚発生、胚および胎児発生、並びに出生前と出生後の発生および母動物の機能に関する安全性試験、薬理と臨床 39(6):595-610, 2011.

デジタルアーカイヴ研究室

デジタルアーカイヴ研究室の概要

デジタルアーカイヴ研究室では、大容量の光ディスクであるブルーレイディスクをアーカイヴ目的で使用する場合の保管条件における寿命推定が可能となる実験方法、計測方法及び推定方法の確立及び、アーカイヴされたデータを高信頼性のもとに保存し効率的利用が可能となるアーカイヴシステムを明らかにすることを目的としている。

2011 年 4 月施行の公文書管理法により、国の機関に対しては作成から整理・保存、国立公文書館への移管や廃棄に至るまでの統一管理が義務づけられ、また民間企業に対しては 2005 年 4 月施行の e-文書法により、作成・保存が義務づけられる文書・帳票類の「電子的・電磁的記録」が認められている。しかし、ハードディスクやフラッシュメモリーの寿命は数年～10 年程度と云われており、また大容量の光ディスクの寿命は製品の種類と品質により大きく異なる状況にある。本研究では、世界的な基準である ISO/IEC10995 に基づいて、公平な立場で CD や DVD に関する寿命推定試験を行える技術を有する機関である「特定非営利活動法人アーカイヴディスクテストセンター (ADTC)」とともに、情報の長期保存に必要な光ディスクの寿命推定方法、高信頼度アーカイヴシステム開発研究を行っている。

平成 23 年度は、主に下記の内容について検討を進め知見を得ている状況にある。

(1) BD-R Dual Layer ディスク寿命推定試験方法の検討

電子データの記録保存用途の主流となることが見込まれるブルーレイディスク（以下 BD）の寿命に関して、温度湿度条件：85℃,85%RH Total incubation time=1000h から 70℃,75%RH Total incubation time=2500h の範囲において、BD Whitepaper BD-ROM 7th edition を参考に RSER(Random Symbol Error Rate)を測定した。その結果、条件(65℃/85%RH)ではディスク破壊が生じず、試験条件候補として有力であることが明らかとなった。また、破壊には主に以下の 3 状態が見られた。(1)カバー層のハガレ（湿度依存）、(2)中間層（一層目と二層目の間）の破壊（温度依存）、(3)BCA(Burst Cutting Area)の破壊（YAG レーザで反射膜層まで焼き切っているため温度湿度試験では早い段階で破壊が発生）。なお、カバー層のハガレ、中間層の破壊に関しては、ディスク側の改善の余地があり、今後、材料等の見直しを行い再度同じ条件で試験を行うことを検討している。

(2) 光学メディアの長期保存および被災時のための耐久性実験

日常の代表的な保存場所の温度湿度状況の測定と、災害などを想定した海水・泥水での浸水実験を行い、実験前後の光学メディアのエラー値を調べた。光学メディアは日本メーカー製と海外メーカー製での品質によるエラー値の差、日常生活内でのわずかな期間でもエラー値が上昇すること、さらに光学メディアの耐久性は海水・泥水に非常に弱く、復旧が困難になる場合があることが明らかとなった。これらは高信頼度アーカイヴシステムの基本設計に行かす予定である。

以上の取り組みを継続発展させ、急速に重要性の増す公的記録・業務記録・民生品記録におけるデジタルデータ保存分野の適正な発展に資することを目指している。

2012 年 5 月

デジタルアーカイヴ研究室

横井 利彰

水素自動車実用化研究室

水素自動車実用化研究室報告

2010 年度の 8 月から総合研究所の一室を借用して「水素自動車実用化研究」を開始した。研究の具体的内容は、以下の通りである。

- (1) 水素自動車実用化研究(水素・ガソリンバイフューエル化小型自動車の試作検討, 設計, 部品調達, 推進活動)を IT カーズ(株)と共同研究として実施。
- (2) 液体水素タンクボイルオフゼロ化のため, 小型冷凍機の研究開発(重点推進研究の続き)の実施

各内容について、2011 年度の実施内容について、概要を以下に述べる。

1. 水素自動車実用化研究(水素・ガソリンバイフューエル化小型自動車の試作検討, 設計, 部品調達, 推進活動)として、IT カーズ(株)との共同研究

2010 年度より、東京都市大学が育んできた「水素エンジンおよび自動車関連の技術シーズ」と「水素エネルギーシステムの知見と人脈」と共同研究先 IT カーズ(株)の「事業化ノウハウ」をあわせ、化石燃料中古車を水素エンジン自動車に改造し、それを事業化する検討をしてきた。2011 年度は IT カーズ(株)より共同研究で開発しているバイフューエル(水素+ガソリン)車の完成を目指した。

1. 1 共同研究体制

主担当者：東京都市大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 兼務
准教授 山根 公高

支援担当者：東京都市大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 技術補 中川 研司
学生 1 名

設計担当者：東京都市大学 工学部 エネルギー化学科 客員研究員 梅村 幸生

外部主担当者：IT カーズ(株)：東京都千代田区神田司町 2 丁目 13 番地 IT カーズ株式会社
(代表取締役 平瀬 順一)の新事業部 次長 今井 作一郎

1. 2 2011 年度の実施内容

➤設計(高圧水素タンク室、換気ダクト、ECU 改造設計)、調達部品の仕様決定(高圧水素供給システム、ECU 改造仕様)、部品調達(35MPa 対応軽量高圧水素タンク((株)サムテック社製)、高圧水素供給システム)、試作(高圧水素タンク室、換気ダクト、ECU 改造設計)を実施し、試作をおこなった。

➤高圧水素燃料供給システムの認証：日本自動車研究所にて高圧水素燃料供給システムの認証を得ることが出来た。

1. 3 2011 年度の結果

水素燃料供給システムを完成させ、その認証機関である自動車研究所より認証を受け、合格した。

1. 4 2012 年度の計画概要

- 水素+ガソリン用に試作した、エンジン制御システムにて、運転性のよい制御方法を構築する。
- HySUT の水素燃料供給を受けるために、暫定登録を行う。
- 試作した ECU を用い、水素のみ、水素+ガソリン、ガソリンのみの運転領域を、走りを確認しながら決定する。
- 排気検査を受ける。
- 白ナンバー取得を行う。
- 公開発表を行う。



図1 35MPa 軽量高压水素タンクを積んだ試作車

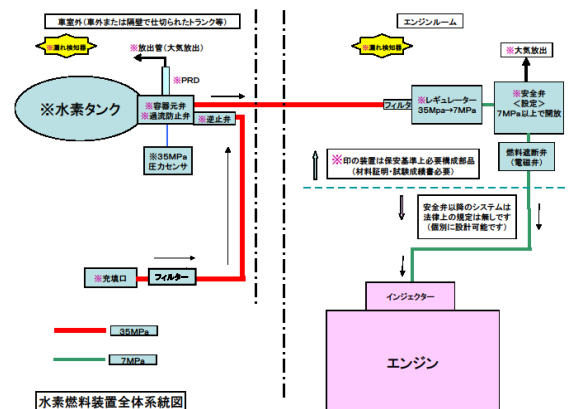


図2 軽自動車用高压水素供給システム

2. 液体水素タンクボイルオフゼロ化のため、小型冷凍機の研究開発（重点推進研究の続き）

重点研究で3年間平成21年度まで実施してきた「液体水素タンクボイルオフゼロ化の研究」を、「水素自動車実用化研究」の中に組み入れて実施した。実施内容は以下の通りである。

- パルス管冷凍機性能向上
- モーションコントロールを用いた脈動流制御研究

2. 1 研究体制

実施責任者：東京都市大学 総合研究所 水素エネルギー研究センター 兼務

准教授 山根 公高

指導担当者：松原 洋一 先生（元日本大学教授、小型冷凍機パルス管冷凍機の世界一人者）

担当者：丸山 貴史，工学部 環境エネルギー工学科 G4，学籍番号：'0816064

2. 2 2011 年度の実施内容

➤パルス管冷凍機性能向上

2. 3 2011 年度の結果

昨年実施した、実験のフォローに終始した。

2. 4 2012 年度の実施計画

指導担当者である松原洋一先生と相談した結果、設計目標に到達していないため、制御パラメータをもう少し細かく変化させ、再度性能向上を調査することになった。

以上