

1 応用物理学一般 | 一般セッション(ポスター講演): 1 応用物理学一般 (ポスター)

[16p-P07-1~46] 1 応用物理学一般 (ポスター)

[16p-P07-1]

タングステン合金の電気輸送特性に関する第一原理計算

○河野 翔也¹、栗下 裕明²、牧村 俊助² (1.九工大、2.高エネ研)

[16p-P07-2]

多結晶材料の熱伝導過程における結晶粒径依存性の熱回路網法によるモデル化

○(M1)津内口 剛志¹、村口 正和¹、早川 虹雪¹、今井 健人¹、本田 充紀²、小田 将人³、石井 宏幸⁴ (1.北科大工、2.原子力機構、3.和大シス工、4.筑波大数物)

[16p-P07-3]

放射光X線による吸放熱材料HASClayの構造評価

○(M1)柴田 凜平¹、村上 龍真¹、藤崎 聡美¹、武田 洋一¹、万福 和子²、鈴木 正哉²、河野 裕一³、水戸 谷 剛³、米山 明男⁴、廣沢 一郎⁴、吉本 則之¹ (1.岩手大院総合、2.産総研、3.東日本機電開発(株)、4.九州シンクロトロン)

[16p-P07-4]

画像センサーに関連した負性抵抗回路網の理論解析と物理系への応用

○(M2)大友 翔¹、高橋 学¹、長尾 辰哉¹ (1.群馬大学)

[16p-P07-5]

パリティ時間対称性を用いたワイヤレス給電モーター駆動 システム

○エサキムトゥ シリナータン¹、矢次 健一¹、飯塚 英男¹ (1.豊田中研)

[16p-P07-6]

マスクレスフォトリソグラフィを用いた微細加工と半導体教育の実践

○羽瀨 仁恵¹、Timothé Foreau²、ゴーシャン ワイ¹、英二 白木¹、民夫 飯田¹ (1.岐阜高専、2.UIT of Blois)

[16p-P07-7]

初年次導入科目における物理学編5回の取組みとその教育成果

○重松 利信^{1,2}、稲垣 祐次¹、中山 紘之¹、野間川内 一樹^{1,2}、山口 一裕² (1.岡山理大・基盤、2.岡山理大・教育開発)

[16p-P07-8]

地磁気逆転現象の展示実験その7

○石井 義哲¹、廣田 恵¹ (1.艦磁研)

[16p-P07-9]

太陽光の照射による白色LEDの発電特性

○山口 静夫¹ (1.九共大)

[16p-P07-10]

ブレッドボードを用いた難しい合成コンデンサーの学習

○栗原 一嘉¹、三屋 力規¹ (1.福井大教)

[16p-P07-11]

マルチチャンネル式光検出器を用いた簡易分光器の試作4

○松元 健¹ (1.マツモト精密工業)

[16p-P07-12]

越前焼を題材にした色の理解に関する検討

○長谷川 智晴¹ (1.福井工業高等専門学校)

[16p-P07-13]

人工現実感と複合現実感を組み合わせた教育システム
-熱気球のしくみへの応用-

○(M2)平塚 心太郎¹、田中 宇宙¹、酒井 大輔¹、原田 建治¹ (1.北見工大)

[16p-P07-14]

液体金属を電極に用いたpn接合ダイオードの基礎的検討

西村 優¹、田邊 真子¹、○内海 淳志¹、石川 一平¹、清原 修二¹ (1.舞鶴高専)

[16p-P07-15]

プラスチックを用いた放射線教育実験における発熱剤利用モデルの提案

○(B)市場 颯馬¹、石川 一平¹、清原 修二¹、内海 淳志¹ (1.舞鶴高専)

[16p-P07-16]

紫外線表面改質による放射線教育用プラスチックの開発

○(B)近藤 慧始¹、石川 一平¹、清原 修二¹、内海 淳志¹ (1.舞鶴高専)

[16p-P07-17]

Spin On Glassを用いた教育効果の高いpn接合デバイス作製

○小林 奈和¹、井戸川 槇之介¹ (1.釧路工業高等専門学校)

[16p-P07-18]

自然放射線源によるSi半導体検出器の作製

○小林 奈和¹、井戸川 槇之介¹ (1.釧路工業高等専門学校)

[16p-P07-19]

MOD法によるBSCCO／n型半導体ヘテロ接合の試作

○山田 靖幸¹、笠井 大夢¹、延島 聖人¹、伊倉 秀羽¹ (1.小山高専)

[16p-P07-20]

ガス/電気化学複合システムによるパラジウムおよびパラジウム基合金円筒の水素透過特性評価

○(M1C)小倉 博人¹、原田 亮¹、内田 ヘルムート貴大¹ (1.東海大院工)

[16p-P07-21]

超薄膜への非破壊可逆電気コンタクトプローブ

○吉武 道子¹、小俣 香織^{2,3}、兼松 秀行² (1.物材機構、2.鈴鹿高専、3.山梨大)

[16p-P07-22]

マイクロレンズとしての酵母細胞の集光特性と屈折率の測定

○松谷 晃宏¹ (1.東工大OFCマイクロ)

[16p-P07-23]

ヴィオラの周波数特応答と駒の関係

○松谷 晃宏¹ (1.東工大)

[16p-P07-24]

バイポーラ電気分解による金のアルカリハライド水溶液への抽出法の改良

○吉澤 深玖¹、高見 知秀² (1.工学院大学応用学専攻、2.工学院大教養)

[16p-P07-25]

High Nickel Extraction From Indonesian Nickel Laterite Ore by Atmospheric Microwave Roasting-Leaching Method

○MUHAMMAD ALJALALI¹, Kohei Nakagawa¹, I Putu Abdi Karya⁵, Alsan Ndita², La ode Muhammad Darusman³, I Nyoman Sudiana², La Agusu², Fumihiko Nishimura⁴, Toyohiko Nishiumi⁵, Takayuki Asano⁵, Seitaro Mitsudo⁵ (1.FIR, Univ. of Fukui, 2.Dep. of Physics, Univ. of Halu Oleo, 3.Dep. of Chemistry, Univ. of Halu Oleo, 4.HISAC, Univ. of Fukui, 5.Dep. of Applied Physic, Uni. of Fukui,)

[16p-P07-26]

マイクロ波減圧蒸留法を用いた福井梅酢の再資源化への検討

○鶴尾 未来¹、大久保 証¹、岩本 拓馬¹、片山 大和¹、照井 大和¹、山口 光男²、仲川 晃平³、西海 豊彦¹、浅野 貴行¹、光藤 誠太郎¹ (1.福井大工、2.福井大産学官、3.福井大遠赤セ)

[16p-P07-27]

マイクロ波加熱により生成した廃棄物由来粗水素を用いたメタネーション

○影山 陽大¹、Karya I P. Abdi¹、仲川 晃平²、西海 豊彦¹、浅野 貴行¹、光藤 誠太郎¹ (1.福井大工、2.福井大遠赤セ)

[16p-P07-28]

水素雰囲気中におけるNi担持CaCO₃単結晶基板からのメタン生成

○岡本 陽佑¹、吉田 有章^{1,2}、源馬 龍太^{1,2} (1.東海大工、2.マイクロナノ研)

[16p-P07-29]

触媒金属/炭酸化物 複合粉末を用いたCH₄生成の繰り返し性能

○吉田 有章^{1,2}、岡本 陽佑¹、源馬 龍太^{1,2} (1.東海大工、2.東海大MNTC)

[16p-P07-30]

BaTiO₃のボールミリングによるCO₂のメタン化

○(M2)布瀬 小枝¹、澤原 馨登^{2,3}、源馬 龍太¹ (1.東海大院工、2.筑波大院理工、3.産総研)

[16p-P07-31]

Mg水酸化物のボールミリングによる水素生成と分解挙動

○(M2)遠田 和大¹、源馬 龍太^{1,2} (1.東海大工、2.東海ナノ研)

[16p-P07-32]

Al水酸化物のボールミリングによる水素生成の検討

○穴倉 享佑¹、源馬 龍太² (1.東海大工、2.東海大マイクロナノ研)

[16p-P07-33]

ボールミルから作成したCa-Mg系水素吸蔵材料の反応性-添加物の影響-

○板橋 達也¹、源馬 龍太^{1,2} (1.東海大工、2.東海大マイクロナノ研)

[16p-P07-34]

フェムト秒レーザーを用いた超純水からの水素生成量のF値依存性

○伊藤 央樹¹、櫻井 大斗¹、桑原 彬²、水嶋 裕基¹、間瀬 暢之¹、松井 信¹ (1.静大工、2.芝浦工大工)

[16p-P07-35]

人工被膜を形成したリチウムイオン電池用Si負極の高温下充放電特性

○(M1C)園田 真由¹、春田 正和¹ (1.近大)

[16p-P07-36]

Li₃Fe₂(PO₄)₃正極活物質を用いた透明全固体電池の作製

谷口 翔紀¹、松田 圭吾¹、○春田 正和¹ (1.近大産業理工)

[16p-P07-37]

高酸化状態の鉄を含有したバナジン酸塩ガラスにおける殺菌能評価

○(M1)峯越 大輝¹、山内 里沙¹、林田 航輝¹、西田 哲明²、岡 伸人¹ (1.近畿大学、2.環境材料研究所)

[16p-P07-38]

バナジン酸塩ガラスを正極活物質としたリチウムイオン電池の高容量化

林田 航輝¹、○(M1)峯越 大輝¹、西田 哲明²、岡 伸人¹ (1.近畿大学、2.環境材料研究所)

[16p-P07-39]

酸素含有ガス流通下で動作可能なMn錯体によるCO₂還元反応

-資源量豊富な元素で構成される高効率人工光合成システムの実現-

○西 哲平¹、坂本 直柔¹、関澤 佳太¹、森川 健志¹、佐藤 俊介¹ (1.豊田中研)

[16p-P07-40]

InAsSbダイオードを用いた夜間光発電

○松浦 徹¹、清水 陸¹、吉松 歩輝¹ (1.福井高専)

[16p-P07-41]

銀合金層をコートしたルチル型TiO₂基板上への鉄シリサイドの結晶成長

○秋山 賢輔¹、祖父江 和治¹ (1.神奈川県立産技総研)

[16p-P07-42]

Duty制御安定化C波紫外線（UVC）LED光源の評価

斉藤 水波¹、吉田 知生¹、吉田 知生¹、小森 葉月¹、小島 愛弥加¹、○勝亦 徹¹、相沢 宏明¹、松元 健²
(1.東洋大理工、2.マツモト精密)

[16p-P07-43]

Duty制御安定化紫外線LED光源の評価

小森 葉月¹、吉田 知生¹、吉田 知生¹、小島 愛弥加¹、斉藤 水波¹、○勝亦 徹¹、相沢 宏明¹、松元 健²
(1.東洋大理工、2.マツモト精密)

[16p-P07-44]

Duty制御安定化可視光LED光源の評価

吉田 知生¹、吉田 知生¹、小森 葉月¹、小島 愛弥加¹、斉藤 水波¹、○勝亦 徹¹、相沢 宏明¹、松元 健²
(1.東洋大理工、2.マツモト精密)

[16p-P07-45]

弾性表面波を用いた霧化現象の応用

○(M2)市原 弘基¹、清水 優希¹、近藤 淳¹ (1.静岡大工)

[16p-P07-46]

超音波速度変化法における超音波ジェルによる冷却の影響

○(M2)中田 航貴¹、高山 慧士¹、和田 健司²、松山 哲也¹、岡本 晃一¹、松中 敏行³ (1.阪公大工、2.阪公大研究推進、3.TU技術研究所)

タングステン合金の電気輸送特性に関する第一原理計算

First-Principles Calculations of Electrical Transport Properties of Tungsten Alloys

九工大¹, 高エネ研² °河野 翔也¹, 栗下 裕明², 牧村 俊助²

Kyutech.¹, KEK², °Shoya Kawano¹, Hiroaki Kurishita², Shunsuke Makimura²

E-mail: skawano@ele.kyutech.ac.jp

タングステンは半導体製造・次世代パワーデバイスなど電子機器の製造工程に幅広く使用されているが、その資源のほとんどを中国からの輸入に依存しており、クリティカルメタルに分類される。タングステン融点が高く、高真空・高純度不活性雰囲気であればクリーンな環境を保ちながら超高温まで使用可能であり、用途に応じてヒーター、電極、X線源などの加熱材・電子放出材として使用されている。タングステンは電気抵抗率が室温で $5.7 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ と低いいため、ヒーターとして現実的な電流値によるジュール加熱を利用する際には断面積を減らさなくてはならない。すなわち極端に薄いまたは細い材料を使用しなくてはならず破損しやすくなる欠点をもっている。そこで合金化することで電気抵抗率を高くできると、断面積を極端に減らすことなくジュール加熱できる。これまでに、タングステン合金にオスミウムやレニウムを添加した実験で、高抵抗化が報告されている。

本研究では、タングステン合金の高抵抗率化に向けて基礎的知見を得るために、第一原理計算を用いてタングステン合金の安定性および電気輸送特性を明らかにする。具体的には、タングステンとオスミウム (W-Os)、レニウム (W-Re)、ルテニウム (W-Ru) などの固溶体の安定性をクラスター展開法などのスーパーセルを用いた結晶構造モデリングにより計算を行う。そして、そこで作成したモデルを用いて、各合金の電気伝導特性を解析し、実験と比較を行う。発表ではそれらについて示し、タングステンの電気抵抗率を高めるための効果的な合金元素の選定およびその理論的根拠について議論を行う。

参考文献

[1] Jian-Chao He et al., Mater. Trans. vol.45, 8 (2004) 2657-2660.

謝辞

本研究は、(公財)高橋産業経済研究財団の支援により行われた。

多結晶材料の熱伝導過程における結晶粒径依存性の 熱回路網法によるモデル化

Modeling the grain size dependence of heat conduction processes in polycrystalline materials using thermal network model

北海道科学大学・工¹, 原子力機構・物質科学², 和歌山大学・シス工³, 筑波大学・物工⁴,
○津内口 剛志(M1)¹, 村口正和¹, 早川虹雪^{1,2}, 今井健人¹, 本田充紀^{1,2}, 小田将人³, 石井宏幸⁴
Hokkaido Univ. of Sci.¹, JAEA MS², Wakayama Univ.³, Univ. of Tsukuba⁴

○Tsuyoshi Tsunaiguchi¹, Masakazu Muraguchi¹, Kosetsu Hayakawa¹, Kento Imai¹,
Mitsunori Honda^{1,2}, Masato Oda³, Hiroyuki Ishii⁴

E-mail: muraguchi-m@hus.ac.jp

近年、未利用熱の有効活用の観点から、熱電材料の開発が進められている。新規熱電材料として、単結晶材料に加え、酸化鉬物などを焼結した多結晶材料による検討も多く進められている[1]。これらの熱電材料の性能を評価するためには、ゼーベック係数、電気伝導率に加え、熱伝導率を評価することが不可欠である。特に、多結晶材料の熱伝導率の評価においては、結晶粒のミクロな物性が、結晶粒界を含めたマクロな熱伝導率とどのように関係しているのか明らかにすることが大きな課題の一つとなっている。

この課題に対し、本研究では多結晶材料の粒径が熱伝導率に及ぼす影響を、熱回路網法を用いてモデル化し、評価を行った。具体的には、結晶粒と結晶粒界を熱伝導率が異なる領域と見立て、それぞれの比を固定し、モンテカルロ法を用いてランダムな分布を与えた。この分布について、Fig. 1 に示すような境界条件に対する熱回路を構成し、各節点における熱流方程式を連立して解くことで、温度分布を求め、その結果から熱伝導率を抽出した。得られた結果の例を Fig.2 に示す。結晶の占める面積に対し、非線形に熱伝導率が増大する結果が得られた。加えて、モデル計算の結果を粒径の異なる焼結体試料の熱伝導率と比較した結果についても報告する。

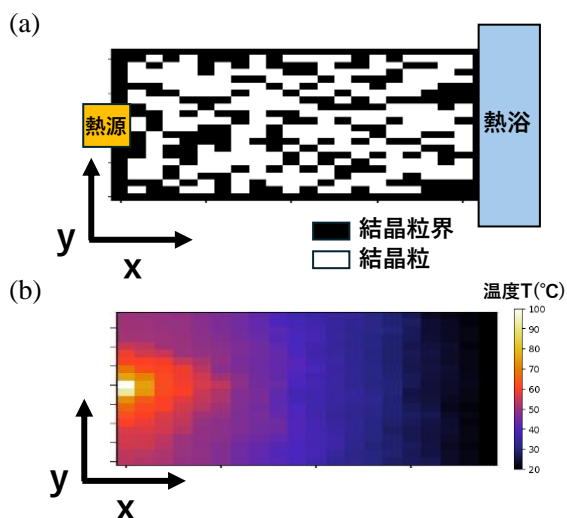


Fig.1 多結晶材料のモデル(a)と熱回路網法による温度分布(b)

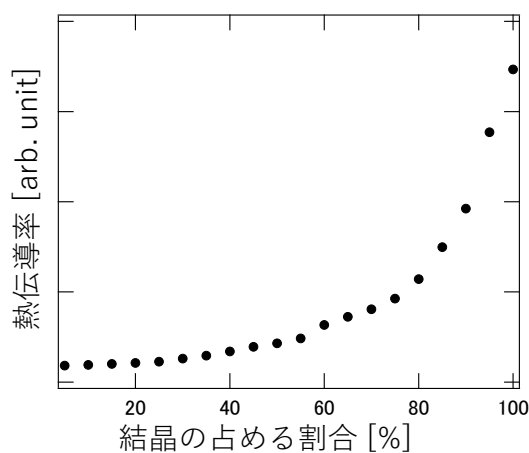


Fig.2 結晶が占める割合と熱伝導率の関係 (結晶中、粒内、結晶-粒界間の熱抵抗比 1:20:2 の場合)

[1] M. Honda, *et. al.*, AIP Advances **14**, 055034 (2024).

放射光 X 線による吸放熱材料 HASClay の構造評価

Structural Characterization of Heat Absorbing and Desorbing Material HASClay by Synchrotron Radiation X-Rays

岩手大院総合¹, 産総研², 東日本機電開発 (株)³, 九州シンクロトロン⁴,○(M1)柴田凜平¹, ○(M2)村上龍真¹, 藤崎聡美¹, 武田洋一¹,万福和子², 鈴木正哉², 河野裕一³, 水戸谷剛³, 米山明男⁴, 廣沢一郎⁴, 吉本則之¹Iwate Univ.¹, AIST², Higashi-Nihon Kidenkaihatu Co., Ltd³, SAGA-LS⁴,°Rimpei Shibata¹, °Ryuma Murakami¹, Satomi Fujisaki¹, Youichi Takeda¹, Kazko Manpuku², Masaya Suzuki², YuichiKouno³, Goh Mitoya³, Akio Yoneyama⁴, Ichiro Hirosawa⁴, Noriyuki Yoshimoto¹

E-mail : g0324097@iwate-u.ac.jp

はじめに：地球温暖化防止に向けて温室効果ガス削減が求められる状況の中、優れた省エネシステムに利用可能な吸着材として、低温熱源を用いて再生が可能な無機多孔質物質 HASClay が開発された。HASClay は非晶質アルミニウムケイ酸塩(HAS : Hydroxyl Aluminum Silicate)と低結晶性粘土(Clay)からなる複合材料であり、低温熱の蓄熱及び放熱を水分の吸脱着によって繰り返し行うことができる。HASClay 内部には大きさの異なる多数の細孔が存在し、密度の異なる領域が混在しているが、水分の吸脱着と細孔および密度の関係は解明されていない。そこで本研究では放射光 X 線を用いた X 線 CT 測定と小角 X 線散乱法(SAXS)で水分の吸脱着に伴う内部構造の変化を明らかにすることを目的として研究を行った。

結果と考察：X 線 CT 測定は九州シンクロトロン光研究センターBL07(SAGA-LS)で行った。測定試料は未使用の HASClay グレードI(GI)とグレードII(GII)を専用の治具で成形したものを使用した。Fig.1 に得られた 3DCT 画像を示す。GIと GIIで全体の密度に違いが見られ、GIIの方が高密度領域が多く分布していることがわかった。

小角 X 線散乱法は大型放射光施設 Spring-8, BL19B2 で行い、Wide range 測定と in-situ 測定を実施した。Wide range 測定では極小角 X 線散乱法と広角 X 線散乱法を加えた 3つの手法を用いて、水分量と試料の劣化具合の違いにおける内部構造の変化を測定した。In-situ 測定では、SAXS を用いて 95%RH で加湿した HASClay の乾燥過程における内部構造の変化の様子を観察した。Fig.2 に測定によって得られた自己相関関数の変化の様子を示す。乾燥と共に自己相関関数の形状が変化していることから HASClay 内部に含まれる水分子が吸着された細孔の割合が変化していることが示唆された。

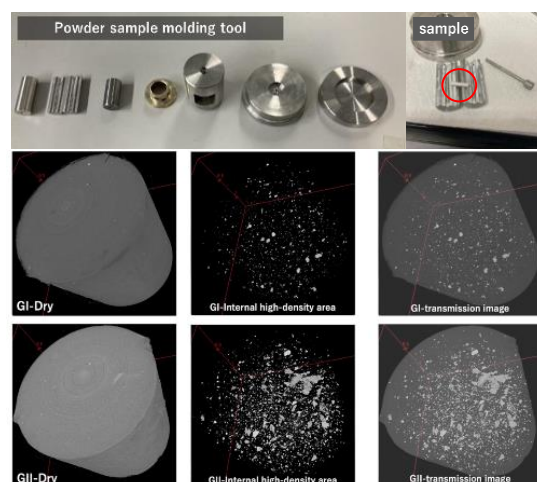


Fig.1 Molding tools and CT image

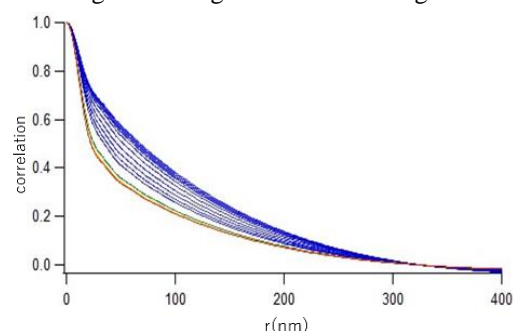


Fig.2 Changes in the self-correlation function

画像センサーに関連した負性抵抗回路網の理論解析と物理系への応用

Theoretical Analysis of Negative Resistance Network Circuits Related to Image-Censor and Its Application to Physical Systems

群馬大理工¹, [○](M2)大友 翔¹, 高橋 学¹, 長尾 辰哉^{1(*)}

Gunma Univ.¹, Kakeru Otomo¹, Manabu Takahashi¹, Tatsuya Nagao^{1(*)}

E-mail: t231d014@gunma-u.ac.jp, ^(*)nagao@gunma-u.ac.jp

画像処理の分野ではセンサーの高機能化は重要な課題である。特に、CMOS イメージセンサーにおいて、アナログ・ニューロチップを採用し、センサーの高機能化を達成しようとする流れがある[1]。ニューラルネットワークへの応用等も含め、理論・応用の両面で大きな進展が達成されている[2]。本研究では、ニューロビジョンチップ(NVC)回路として抵抗ネットワーク回路を対象に、系の振舞いを解析的手法、及び Spice シミュレータによる実験を組み合わせ、調べる結果を報告する。

Figs.1-4 は、ある有限抵抗ネットワーク回路 Fig.1 とシミュレータで得た電圧分布 Figs.2-4 を示したものである。Fig.1 で、ノード番号0につながる電流源はフォトダイオードからの出力を表す。Fig.2 と Fig.3 は終端のコンダクタンス g_t の値だけが異なる結果である。境界条件によって、系の振舞いが異なり、NVC としての特性も大きく異なることを意味している。

これらの解析に用いた回路方程式は、連成振動系や固体物理における強束縛近似の適用できる電子系のシュレーディンガー方程式に類似している。また、回路パラメータを調整することで、回路プラットフォーム上において固体物理で注目を集めているトポロジカル相の探索が可能であることが知られている[3]。これらの系では、画像処理に有利な安定解以外にも、周期解やマルチ・ピーク解にも意義を見出すことができる。例えば、Fig.3,4 は、それらの例で、

回路を支配する同伴行列の固有値のスペクトル分布により、振舞いを分類できる。いくつかの系に対し、解析解に基づく知見が得られたので、シミュレーションの結果も含めて報告する。

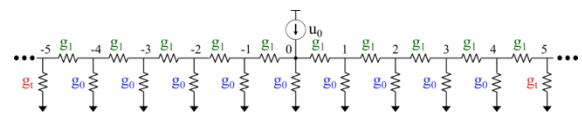


Fig. 1 Resistor Network Circuit

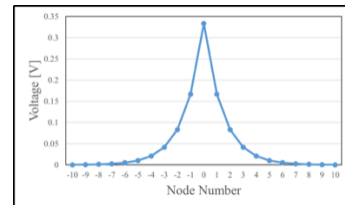


Fig. 2 Voltage spread with $g_1 = 2g_0, g_t = 2g_0$

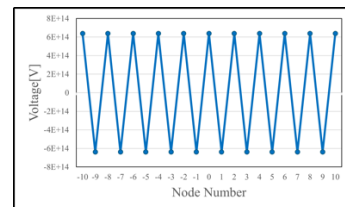


Fig. 3 Voltage spread with $g_1 = -\frac{g_0}{4}, g_t = \frac{g_0}{2}$

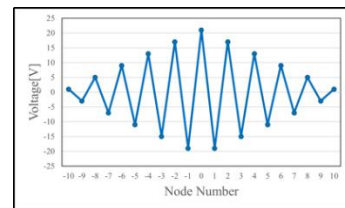


Fig. 4 Voltage spread with $g_1 = -\frac{g_0}{4}, g_t = g_0$

- [1] T. Matsumoto, *et al.* IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 3, No4, pp. 540-569, 1992
- [2] Y. Ohike, 応用物理学会, 応用物理 89 (2), pp. 68-74, Feb 2020
- [3] H. Yang, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.14643>

パリティ時間対称性を用いたワイヤレス給電モーター駆動システム

Wirelessly powered motor operation using parity-time symmetry

豊田中研¹, °エサキムトウ パンダラコン シリナータン¹, 矢次 健一¹, 飯塚 英男¹

Toyota Central R&D Labs., Inc.¹,

°Shrinathan Esakimuthu Pandarakone¹, Kenichi Yatsugi¹, Hideo Iizuka¹

E-mail: sarushri@mosk.tytlabs.co.jp

損失と利得を有する共振器系からなるパリティ時間(PT)対称性の概念が注目を集めている。PT対称性では、損失/利得と結合の大きさによって固有モードの周波数が実数の領域があり、その領域では損失と利得を有する共振器それぞれにエネルギーが等しく分配される。

近年、PT対称性の概念はワイヤレス給電にも応用されており、伝送距離に対するロバスト性が実証されている。一方で、産業界の幅広い分野で重要な役割を果たしている機器としてモーターがある。ワイヤレス給電によってモーターを駆動する場合には、負荷変動に対する出力電圧の変動が課題である。本研究ではPT対称性をワイヤレス給電モーター駆動システムに応用することで、モーターの回転速度に対して安定した電圧が得られることを実証した[1]。

図1に実験系の写真を示す。送信コイル L_1 と受信コイル L_2 がそれぞれ C_1 および C_2 と共振回路を形成しており、 L_1 と L_2 が磁氣的に結合している。本研究では送信回路を自励式発振回路にすることで過飽和利得を構成した。それにより、結合が十分強い領域では、負荷が変動した場合でも負荷による損失と利得が釣り合い、PT対称性が成立する。異なるモーター回転数に対する負荷電圧を測定した結果、図2に示すようにモーターの負荷インピーダンスの変動に対して安定した電圧が得られた。さらに、コイル間のずれ、距離、角度、オフセット位置の変化に対する実験結果も報告する。

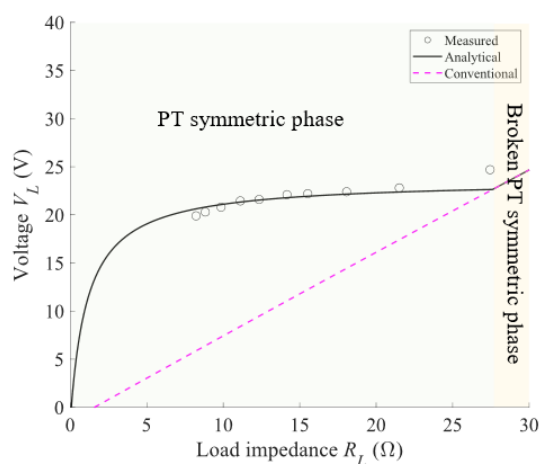
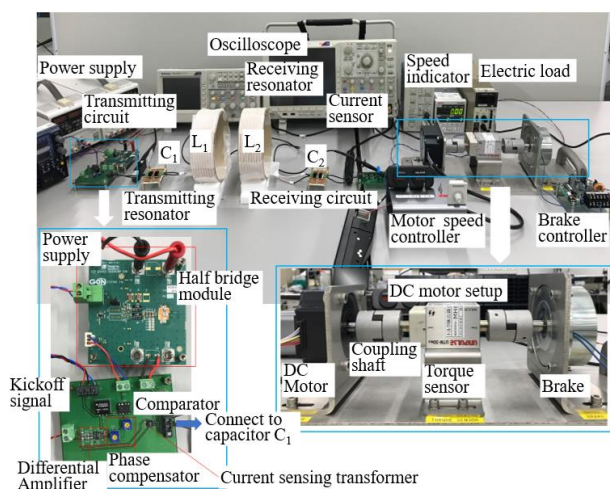


図1 ワイヤレス給電モーター駆動システム 図2 負荷インピーダンスに対するモーター電圧

[1] S. E. Pandarakone, et. al., Scientific Reports **13**, 21492 (2023).

マスクレスフォトリソグラフィによる微細加工と半導体教育の実践

Semiconductor Education Using Microfabrication by Maskless Photolithography

岐阜高専¹, UIT of Blois² °羽瀨 仁恵¹, (B)Timothé Foreau², ゴーシャンウィ¹, 白木英二¹, 飯田民夫¹
NIT, Gifu College¹, UIT of Blois², °Hitoe Habuchi¹, Timothé Foreau², Go Sian Huai¹, Eiji Shiraki¹, Tamio Iida¹

E-mail: habuchi@gifu-nct.ac.jp

【はじめに】半導体産業は、現代のデジタルテクノロジーの基盤となる重要な産業である。日本の半導体メーカーは、かつては先進的な製品や技術を提供していたが、最近では他国の競合他社に押される場面もある。先端技術分野での競争力の維持や、次世代の半導体製造プロセスへの迅速な移行が求められるとともに、人材の確保と育成も重要な課題である。高専でも半導体人材を育てるため COMPASS5.0 事業として半導体教育が推進している。岐阜高専でも半導体プロセスや半導体産業の理解を深めるため、企業と協力して教育を行ってきた[1]。しかし本校では、半導体プロセスとその関連した実習ができない。そこで本校において実践的な半導体教育を行うことを目的として、半導体の前工程のプロセスを学生が実験できるよう環境を整えている。

【実践方法】半導体の前工程では、フォトリソグラフィ技術を用いる。しかしマスクをパターンごと作成するのは時間と手間がかかるため、プロジェクタの映像を対物レンズを通して投影して露光するマスクレス露光装置を用いる。露光装置は、市販品（ネオアーク, PALET）と顕微鏡とプロジェクタを組み合わせた手製のもの[2]を用意した。ソーダガラスを基板としたクロム膜の上にフォトレジスト(AZP-1350, 厚さ 500 nm)を塗布した試料を用いて次のような工程で加工を行った。

- ① CAD で設計したパターンを PALET で露光する。
- ② デベロッパ（東京応化工業, NMD-3 2.38%）で現像し、純水でリンスする。この状態で CAD と設計したパターン通りにレジストが加工できているか共焦点レーザ顕微鏡で確認した（Fig. 1）。
- ③ クロム膜をエッチング液（林純薬工業, Pure Etch CR201）で除去する。
- ④ 剥離液（東京応化工業, 502A）でフォトレジストを除去する。

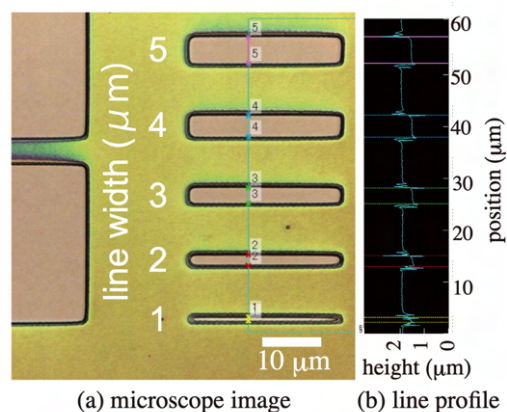


Fig.1. Surface observation after development.

【今後の予定】今後マスクレス露光装置を用いて、主に2つの実験、検証を行う。1つ目は半導体デバイスの作製とその評価である。熱拡散によりシリコンにドーピングを行い、ダイオードやFETを作製する予定である。2つ目はマイクロ加工物の作製である。例として、スリットを作製してレーザ回折実験に応用することを計画している。

【参考文献】 [1] 日本経済新聞 電子版:「イビデン、岐阜の高専で出前授業 半導体人材を育成」(2024.1.15) [2] 上野: 第 66 回応用物理春季学術講演会チュートリアル「2次元層状物質材料の基礎と薄膜形成法」(2019).

初年次導入科目における物理学編の取組みとその教育成果

Efforts and Educational Outcomes of the Physics Section in the First-Year Subjects

岡山理大・基盤¹, 岡山理大・教育開発² °重松利信^{1,2}, 稲垣祐次¹, 中山紘之¹,
野間川内一樹^{1,2}, 山口一裕²

Okayama Univ. of Sci L.A.¹, Okayama Univ. of Sci. D.E.², °Toshinobu SHIGEMATSU^{1,2}, Yuji
INAGAKI¹, Hiroyuki NAKAYAMA¹, Kazuki NOMAKAWAUCHI^{1,2}

and Kazuhiro YAMAGUCHI²

E-mail: shigematsu@ous.ac.jp

1. はじめに

岡山理科大学では「学生の成長に主眼をおく人材育成拠点」となることを宣言し、その実現のために、3つの改革（新研究科構想、基盤教育の改革、入試改革）に着手している。その中でも、基盤教育改革は「人間形成のための教育」と位置づけて、基盤教育の体系化として『こころ豊かに生きる』、『知性を磨く』、『技能を活かす』の3つの成長の観点のもと、12の教育目標を定めた教育を一昨年度から開始した。

本講演では、基盤教育改革の一環として導入した初年次導入科目「自然を読みとく」の科目内で筆者が行った物理学編5回の講義内容を紹介するとともに、これまでの受講生のアンケート結果をもとに、講義の教育成果を考察する。

2. 「自然を読みとく」内の物理学編

本科目は、物理学・数学・地球科学の3名の教員がオムニバス形式で教授する。筆者は実験を中心とした物理学編5回を担当した。

3. 授業評価

2021年度～2023年度の受講生358人に対して、5回の授業終了後のアンケート調査と毎回の授業後レポートを実施した。

アンケート調査は、学生の授業に対する主観的評価となるが、筆者が掲げた授業目標である「好奇心・探求心を喚起し、知る喜びを想起させ

る」「物理嫌いを育てない」に対して、8割以上の学生が高評価を示した。また、客観的評価と捉えることのできる最終レポートのテキストマイニング分析（図1参照）や毎回のレポートの感情表現ワード分析（図2参照）によっても授業毎に喜びや好感度などのポジティブワードが多く出現する傾向から、十分に教育目標を達成でき、学ぶ意義を実感できる授業が構築できていると考えられる。

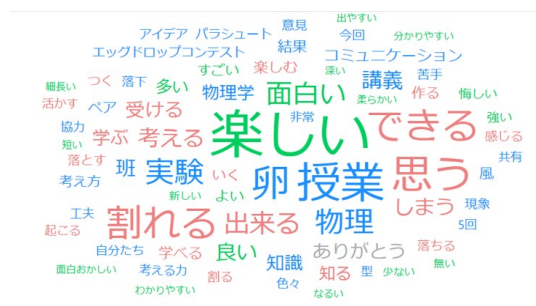


図1 最終レポートのテキストマイニング分析結果「楽しい」「できる」「思う」などのポジティブワードが多く出現している

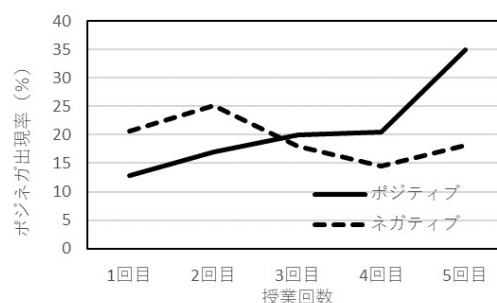


図2 毎回の授業後レポートでのネガティブワードとポジティブワード出現率の授業推移
授業の回を追う毎にポジティブワードの出現率が増している

地磁気逆転現象の展示実験その7

Experimental Display-7 of Geomagnetic Reversal Phenomenon

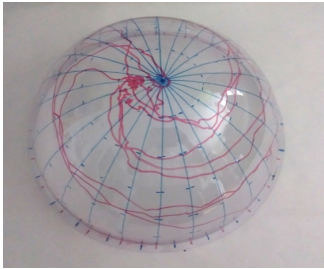
艦磁研, 〇石井 義哲, 廣田 恵 Naval Ship M&UEP R.C., Yoshiaki ISHII, Megumi HIROTA E-mail: ishii@nmurc.com

地磁気が内核による磁気と外核による磁気との合成ベクトルであると仮定して1)、永久磁石化した固体金属回転球体である内核の逆立ちコマ現象により地磁気が逆転すると考えた場合に起こる現象の詳細を考察している2)。

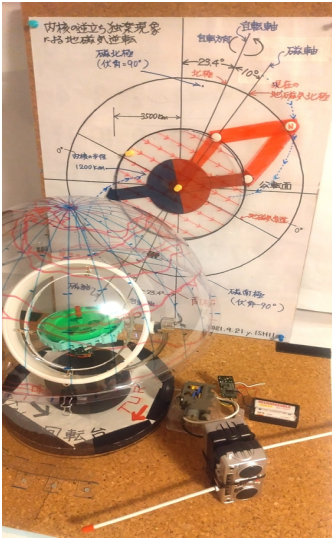
その5その6で回転球体である内核に相当するモータージャイロがジャイロ効果により逆立ちコマ現象を引き起こすことを確認した3)。今回の実験ではモータージャイロの回転軸の軌道を天半球ドームに写し取り(写真)、その地上軌跡を正距円筒図法により平面地図上に実線で展開し、地磁気N極の地上軌跡を点線で展開した(グラフ)。古地磁気学の研究成果との相関の有無を検証することを考慮して、前回の地磁気逆転時期から地磁気が逆転する過程を選定した(表)。

表: 今回の実験の条件

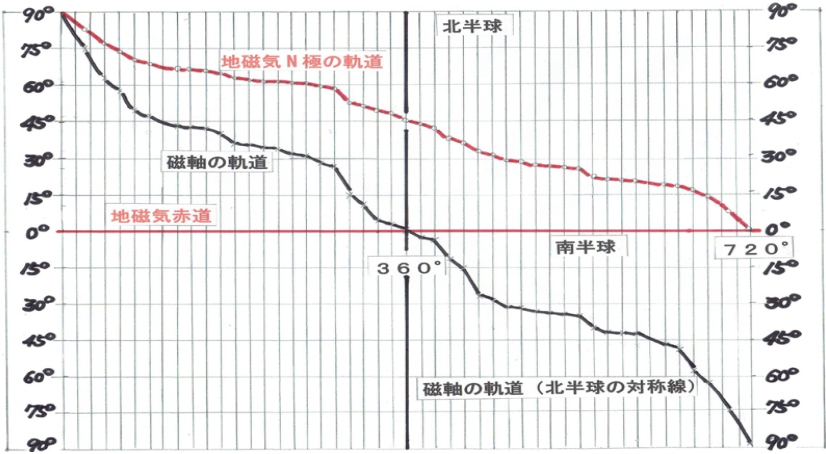
モータージャイロ回転方向	内核の回転方向	時計回りCW
モータージャイロ回転軸の軌道	内核の磁軸の軌道	グラフ黒折線
	地磁気N極の軌道	グラフ赤折線
テーブル回転方向	外核の回転方向	反時計回りCCW



回転軸の軌道



思考実験図版及び展示実験装置



グラフ: 磁軸の軌道及び地磁気N極の軌道

内核を永久磁石とした本説では、内核の回転軸が傾斜することにより、その傾斜角度の2分の1だけ、地磁気極の方向が傾斜する。地磁気極の傾斜角度を θ とすると、地磁気の強さは $2\cos\theta$ となり、内核が完全に逆立ちした時に0となるとともに地磁気赤道上に消失する。今回の実験では地磁気極逆転の軌道の傾向を知るに留まったが今後、実験装置の改良を重ね精度向上を図ることとする。

謝辞 この研究に変わらない励ましをいただいた艦磁研に感謝します。

参考文献等 1) 石井、廣田、第69回応用物理学会春季学術講演会26a-P02-6
2) 石井、廣田、第70回応用物理学会春季学術講演会17p-PA01-10
3) 石井、廣田、第71回応用物理学会春季学術講演会23p-P05-21

太陽光の照射による白色 LED の発電特性

Characteristics of the Power Generation as to the White LED for Irradiation of the Sunlight

九州共立大学 名誉教授

○山口 静夫

Kyushu Kyoritsu University

○Shizuo Yamaguchi

E-mail : yamaguchi-ripple@h4.dion.ne.jp

1. はじめに

前回、「赤色，黄色，緑色および青色」の各 LED の発電について，レフランプ形 LED 電球 LDR6D-W(昼光色，6.2W)を照射し，メロディ IC の動作により発電が確認できた．しかし白色 LED は，上記 LED などに比較して発電電力が 1 桁程度小さく，ほとんど発電しなかった．

今回は，LED 電球の代わりに近紫外領域まで放射スペクトルをもつ太陽光の照射により，白色 LED が発電してメロディ IC の動作を確認したので報告する．

2. 太陽光と白色 LED の分光分布スペクトル

市販されている白色 LED は，主に(青色 LED+黄色蛍光体)方式が用いられている．この白色 LED による発電においては，400 nm 以下の近紫外領域まで放射スペクトルをもつ励起光源が必要となる．しかし白熱電球のレフランプをはじめとして昼光色(昼白色)や電球色の LED 電球は，この波長領域を満たしていない．そこでこの励起光源として，我々に身近で 300 nm 程度の近紫外領域まで放射スペクトルをもつ太陽光に注目した．なお太陽光は，緯度や経度が時々刻々変わり天候にも左右されるので利用する際には注意が必要になる．

はじめに発電に用いる白色 LED (OSW54L5B61P)の発光スペクトルの測定を 400 ~ 750 nm の波長範囲において行った．Fig.1 に測定した白色 LED と太陽光の分光分布スペクトルの相対強度特性を示す．なお太陽光の分光分布スペクトルは，KISTEC(神奈川県立産業技術総合研究所)の各種光源のスペクトル測定例の「8 月の太陽光」を参照している．図から(a)白色 LED は，2 つのピーク波長 $\lambda_{p1}=458$ nm(青色)と $\lambda_{p2}=563$ nm(黄緑色)をもつ典型的な(青色 LED+黄色蛍光体)方式となっている．一方，(b)太陽光は，波長範囲が 300 ~ 3000 nm 程度の分光分布スペクトルを有しているが，この図は可視光領域におけるピーク波長 $\lambda_p=483$ nm をもつ分光分布スペクトルを示している．この図の枠外となる(b)太陽光の 300 nm(近紫外領域)までの放射スペクトルは，(a)白色 LED のピーク波長 $\lambda_{p1}=458$ nm の短波長側を十分覆っているため，その励起光源として使用可能といえる．

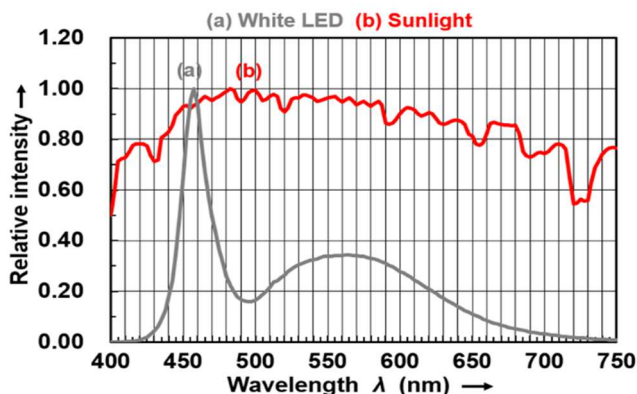


Fig.1 Relative intensity as to the emission spectrum of the (a) White LED and the (b) Sunlight

3. 太陽光による白色 LED 発電特性の測定

快晴時の太陽光は，130000 lx 程度の照度が観測されている．そのため LED 発電特性の測定には，太陽光の照射による被照面の明るさを任意に低減させる必要がある．ここでは，複数の青色～透明のカラーホルダーに太陽光を通過させることによりそれを実現している．

Fig.2 に，白色 LED の発電特性の測定系を示す．図から①太陽光は②カラーホルダーを通過して低減した光を③照度計および 12 個の④白色 LED を並列接続した発電回路に入射させている．これにより③照度 E ，⑥発電電圧 E_G および⑦発電電流 I_G を測定して，一定以上発電したかは⑤メロディ IC 回路の動作で確認している．なお，②カラーホルダーは，⑧固定プレートで保持され，⑨固定スタンド

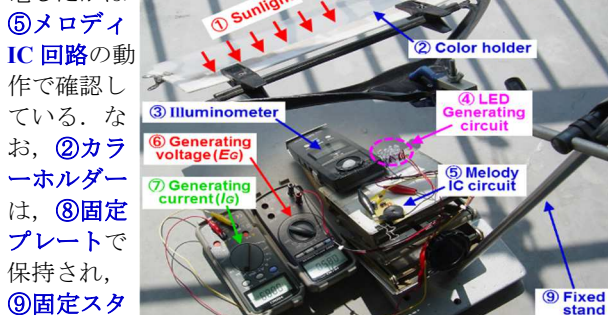


Fig.2 Measuring system of the LED generating voltage and current for irradiation of the sunlight using the color holder

4. 太陽光による白色 LED の発電特性

太陽光に対して，各色のカラーホルダーを複数用いて白色 LED の照度 E を 0 ~ 70000 lx まで 5000 lx 程度の間隔で変化させて LED 発電の発電電圧と電流の E_G ， I_G を測定し，発電電力 P_G は $P_G = E_G I_G$ から求めた．Fig.3 に白色 LED の発電特性を示す．図からメロディ IC の演奏がスタートする照度 E_{01} ，発電電力 P_{01} および音調よく演奏している照度 E_{02} ，発電電力 P_{02} を求めると $E_{01}=40000$ lx， $P_{01}=8.5\mu W$ および $E_{02}=55000$ lx， $P_{02}=14.6\mu W$ となった．一方，LED 電球(LDR6D-W)光の場合は同様の照度で $P_{01}=1.2\mu W$ ， $P_{02}=1.3\mu W$ と発電には至らない．

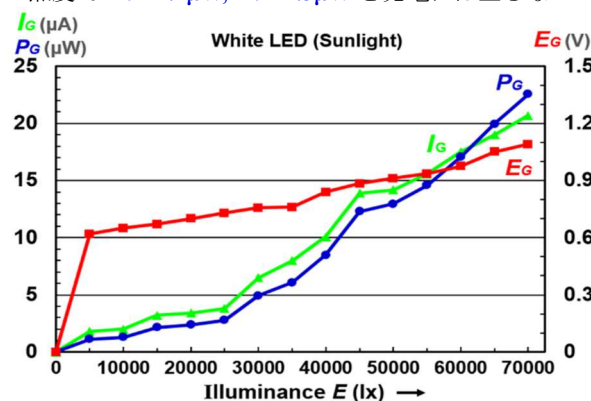


Fig.3 Characteristics of the White LED as to the generating voltage, current and electric power for irradiation of the sunlight

ブレッドボードを用いた難しい合成コンデンサーの学習

Learning of difficult combination of capacitors using a bread board

福井大教 °栗原 一嘉、三屋力規

Univ. of Fukui, °Kazuyoshi Kurihara, Riki Mitsuya

E-mail: kuri@u-fukui.ac.jp

理科実験教室の教材として、ブレッドボードを用いた難しい合成抵抗の学習内容を前回報告した¹⁾。その学習内容は、式計算で解答を求めるだけでなく、ブレッドボードで同じ回路を組み立て、デジタル・マルチメータを用いて抵抗測定し、両者の値を比較するものであった。その教材は、従来と比べて、もっと楽しく、もっと経験的に、難しい合成抵抗を学習できる利点を持つ。今回、前回の内容を発展させ、難しい合成コンデンサーの問題も容易に作成できることを示す。

図1に、難しい合成抵抗の問題(図1 a)と、それに対応する合成コンデンサーの問題(図1 b)を示す。このように、難しい合成抵抗の問題があれば、容易に、難しい合成コンデンサーの問題を作成できる。図1 aの合成抵抗 $R_{ab}(R)$ に対して、図1 bの合成コンデンサー $C_{ab}(C)$ は、 $C_{ab}(C) = 1/R_{ab}(1/C)$ の一般的な関係がある。よって、図1 aの合成抵抗 $R_{ab}(R)=1.25R$ の場合、 $C_{ab}(C)=0.8C$ となる。

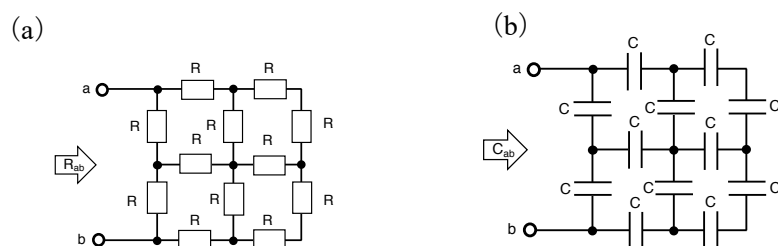


図1 難しい合成抵抗の問題 (a) と対応する合成コンデンサーの問題 (b)

図2に、マルチメータによる測定結果を示す。合成コンデンサーの問題の答えが $0.8C$ に対して、表示は 78.8nF であった。コンデンサー $C = 100\text{nF}$ なので、理論値は 80nF となる。この結果、理論値と実験値の相違は 1.5% と小さな差異となった。

謝辞：本研究の一部は福井県事業²⁾の助成を受けて実施したものです。本研究の一部は、JSPS 科研費 21H00918 の助成を受けて実施したものです。

- 1) 栗原一嘉、三屋力規、「ブレッドボードを用いた難しい合成抵抗の学習 (2)」, 2024 年 3 月、第 71 回応用物理学会春季学術講演会、23p-PA05-26.
- 2) 令和 6 年度未来協働プラットフォームふくい推進事業 (大学等魅力アップ支援分)、「高志高等学校・中学校サイエンス部における中高大連携活動」.

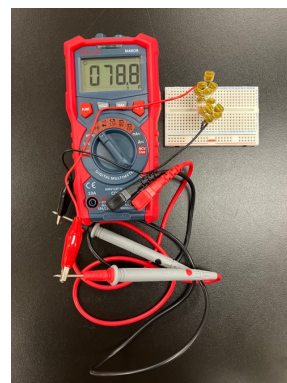


図2 マルチメータによる測定結果. 表示は、 78.8nF を示している。

マルチチャンネル式光検出器を用いた簡易分光器の試作4

Fabrication of simple spectrometer using multichannel photo detectors 4

株式会社マツモト精密工業 松元 健

Matsumoto Precision Co.,Ltd Takeshi Matsumoto

E-mail: takeshi_matsumoto@m-seimitsu.com

はじめに

分子レベルで起きる現象を詳細に観察する手段は必須で、非破壊で迅速、簡便に測定するためには、光吸収や発光など光を使った手法がもっとも有効と考えられる。¹測定に使用する装置は光源、分光器、検出器、データ処理・解析の4要素から構成される。

筆者らは学生実験等の要求を満足できる測定精度で、実験者が直感的に操作でき、かつ低価格な装置の試作を報告してきた。²従来のA/D:12bitから16bitに変更して、新たに試作品を作製したので報告する。

実験

分光システム試作のための設計仕様として表1のように概略を決定した。本試作では分光器として2048ピクセルのマルチチャンネル方式を採用した。光学マウントは、Littrow、Czerny-Turnerなどがあるが波長400～1000 nmの範囲が測定可能な簡便なものを用いた。

マイコンはESP32、A/DはESP32の12bitからADS8688の16bitとした。ソフトはLabVIEWを利用することで改変が容易なように配慮した。

結果

図1に示す測定系でダミー光源を測定した。縦軸から16bitが反映されていることがわかる。

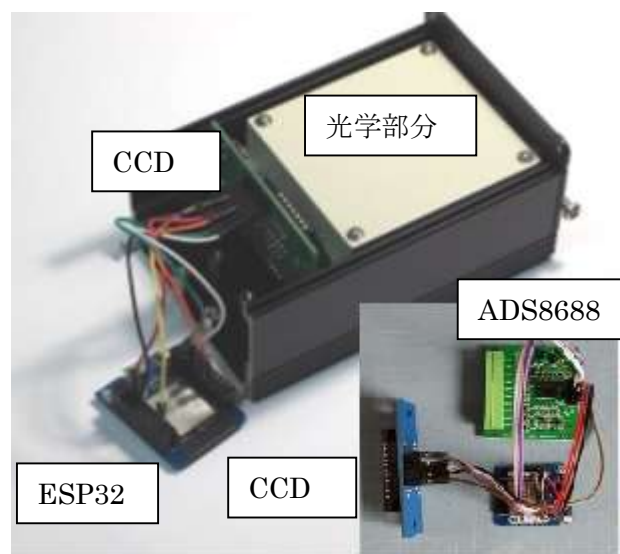


図1. 簡易分光器によるLEDの測定

結果、表1に示した設計仕様を概ね満たすことができた。

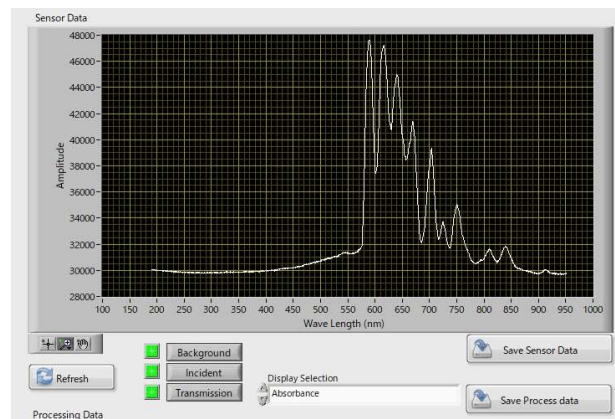


図2. 測定ソフト

今回の試作品は低コスト、改変容易という点で効果的と考えている。

参考文献

1. 実験化学講座 9 物質の構造 I 分光上 丸善
2. 松元健 第79回応用物理学会秋季学術講演会 19a-PA1-15 (2018)

表1. 概略仕様

SPECIFICATION	
DETECTOR	
CCD:	SONY ILX511
Range:	400-1000nm
Number of effective Pixels:	2048
Pixel size:	14μm x 200μm
OPTICAL	
Optical resolution:	5.0-10.0nm FWHM (configuration dependent)
A/D:	16bit
ELECTRONICS	
Power:	5.0VDC
Connector:	USB

越前焼を題材にした色の理解に関する検討

Educational Trial for Understanding “Color” using Echizen Ware

福工業高等専門学校 長谷川智晴

NIT, Fukui College, Tomoharu Hasegawa

E-mail: hasegawa@fukui-nct.ac.jp

1. はじめに

高等学校または高等専門学校の物理では光について学習する。平成 30 年告示高等学校学習指導要領において、光の色について「光のスペクトルに触れる」や「プリズムを用いた実験」の記述がある。これに準じて教科書にはレーザー光、またはプリズムで分光した光のような単色光と波長との関連が紹介されている。しかし生活するうえで身の回りを取り巻くほとんどの色は、物体から散乱された複雑なスペクトルを有する光によるものであって、色と波長が一对一対応する単色光から想像しがたいものである。また、散乱光の色が目に入り色として知覚されるプロセスを理解するためには、ヒトの色覚について言及する必要がある。このような背景から日常生活で目にするものについて「なぜその物体がその色に見えるのか」を学生に理解してもらうことは容易ではない。本報告では色について理解を促進する方法について提案し、その効果を検証する。

2. 実験方法

試料は越前焼に用いられる水簾粘土を焼成したものを用いた（本校学生の課外活動の一環として作製）。焼成条件として(A)空気雰囲気ですそのまま焼成したもの、(B)フタ付アルミナるつぼに活性炭とともに封入し還元雰囲気で焼成したものの2種類を用意した。焼成温度は 750°C、焼成時間は 1 時間である。図 1 に作製したサンプル外観と反射スペクトルを示す。サンプル(A)はおそらく酸化鉄に由来する赤みを呈し、サンプル(B)は鉄の還元由来すると思われる黒色を呈した。

3. 実験結果

ヒトが知覚する色は、散乱光のスペクトルと色覚を表現する等色関数を用いて原理的に再現することができる。また、散乱光のスペクトルは光源のスペクトルと反射スペクトルから計算することができる。表 1 に D65 光源（標準的な昼光）を計算に用いた場合に各サンプルについて得られた RGB 値と、その RGB 値を Excel のセル上で再現した結果について示す。なお、本検討では学生が容易に扱えるよう、Excel 上で反射スペクトルを入力すれば自動的に RGB 値を算出できるようにした。

4. まとめ

地場産品である越前焼の反射スペクトルから色の再現を試みた。焼成条件を変化させ色違いの試料を用意し、反射スペクトルと光源のスペクトルから、試料の色を簡便に再現することができた。試料の作製から色の計算まで一連のプロセスを経験することによって、色についての理解がより深まることが期待される。

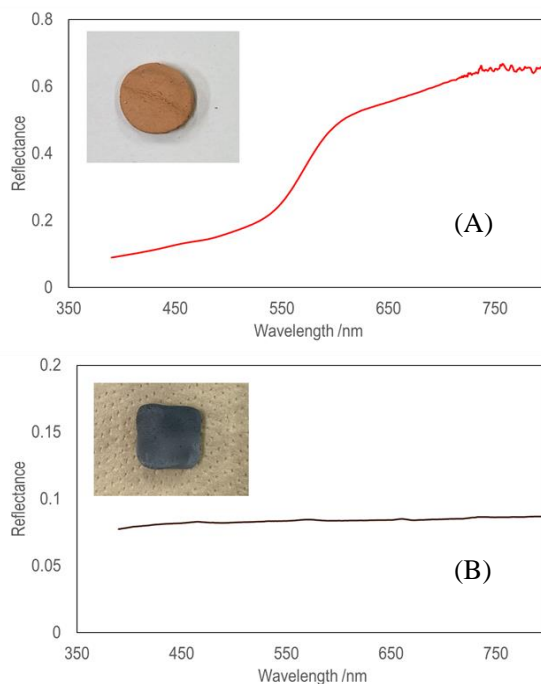


図 1 サンプルと反射スペクトル。

表 1

	RGB値	Excel上の色
(A)	163.5, 63.8, 28.7	
(B)	87.1, 86.2, 82.7	

人工現実感と複合現実感を組み合わせた教育システム -熱気球のしくみへの応用-

Educational Tool Combining Virtual Reality and Mixed Reality
-Application to How a Hot-Air Balloon is Floating-

北見工大, °(M2) 平塚 心太郎, 田中 宇宙, 酒井 大輔, 原田 建治

Kitami Inst. of Tech., °Shintaro Hiratsuka, Tanaka Sora, Daisuke Sakai, Kenji Harada

E-mail: m3235300096@std.kitami-it.ac.jp

1. はじめに

近年、理系科目を苦手とする児童や生徒が増加する「理科離れ」が社会的な問題となっている。我々の研究室では、児童や生徒が立体的な視聴体験を通して楽しみながら学習できる教育システムとして、人工現実感(VR : Virtual Reality)と複合現実感 (MR : Mixed Reality)を組み合わせたシステムを開発してきた。本研究では、このシステムを用いて、小学校 4 学年の理科単元である「ものの温まり方」に関する教材を作製した。従来の教材では直感的に理解し難かった、空気の温まり方について、熱気球の浮かぶ仕組みを用いて、VR と MR 体験により理解を促すことを目的とする。

2. 実験・結果

本教育システムは、MR 空間上でオブジェクトを操作する組み立て用シーンと、MR 空間上で組み立てた世界を VR 空間上で体験できるシーンからなる。HMD(ヘッドマウントディスプレイ)を装着した生徒は、Fig. 1 のように MR 空間上で熱気球のパーツを操作し、組み立てることができる。また、Fig. 2 のように MR 空間上で組み立てた熱気球に VR 空間で乗る体験が可能である。VR 空間上の熱気球に乗るシーンでは、熱された空気により熱気球が浮かぶ現象を浮遊感のある体験と共に学べることが確認できた。

3. まとめ

本システムを用いることで、熱気球が熱された空気により膨らむ原理から熱気球に乗る体験までの学習が可能なソフトウェアを開発した。本発表へ向け、この教材を実際に児童に体験していただき、得られた感想を含めて報告する予定である。



Fig. 1 MR 空間上で熱気球を組み立てる様子



Fig. 2 VR 空間上で熱気球に乗る体験の視点

液体金属を電極に用いた pn 接合ダイオードの基礎的検討

Fundamental Study of PN Junction Diode Teaching Materials Using Liquid Metal as Electrode for Semiconductor Education

舞鶴高専 西村 優, 田邊 真子, [○]内海 淳志, 石川 一平, 清原 修二

NIT, Maizuru College, Yu Nishimura, Mako Tanabe, [○]Atsushi Utsumi,

Ippei Ishikawa, Shuji Kiyohara

E-mail: utsumi@maizuru-ct.ac.jp

はじめに

通常, 半導体デバイスを作製するためには, 複数の装置を使用して工程を重ねる必要がある. 我々の研究室では, 蒸着装置やスパッタ装置などを使用せずに短時間で作製できるシリコンを用いた半導体デバイス教材の実現を目指している. これまでに, 電極に液体金属を用いたショットキーダイオード教材などを開発してきた[1]. 本研究では, 液体金属を電極に用いた pn 接合ダイオードの基礎的検討として, pn 接合を形成するための不純物拡散, 液体金属を電極として用いたダイオードの試作, およびその電流-電圧特性の評価を行ったので報告する.

実験方法

不純物拡散の実験では, 抵抗率がそれぞれ $0.0072 \sim 0.0078 [\Omega \cdot \text{cm}]$, $1 \sim 10 [\Omega \cdot \text{cm}]$ および $1530 \sim 2310 [\Omega \cdot \text{cm}]$ の 3 種類の p 型シリコンウェハを使用した. 不純物拡散は, n 型不純物であるリン(P)を含むスピノングラスであるリンケイ酸ガラス(PSG)を使った熱拡散法を用いて行った[2]. まず, ウェハから基板を切り出し, 有機洗浄と酸化膜除去を行った. 次に, シリコン基板表面に PSG を塗布し, 1100°C , 60 分の熱処理を行い, 不純物拡散をした. pn 接合の形成を確認するために, 4 探針法を用いて抵抗値を測定し, 不純物密度を導出した.

pn 接合ダイオードは, 不純物拡散を施した基板表面およびその裏面に液体金属を塗布して作製した. なお, 使用した液体金属はガリウムを主原料としたものである[1]. 作製した試料の電流-電圧特性を測定し評価を行った.

結果

n 型不純物を拡散したシリコン基板表面の抵抗値を測定した結果, 抵抗率 $1 \sim 10 [\Omega \cdot \text{cm}]$ のシリコン基板では n 型不純物拡散層の形成が確認できた. また, この基板に液体金属を塗布して pn 接合ダイオードを作製し, 電流電圧特性を測定した結果, ダイオードの整流特性を確認することができた. 今後は時間経過とともに, 作製した pn 接合ダイオードの電流電圧特性がどのように変化するかを調べる必要がある.

謝辞 本研究は科研費基盤 C (24K06370) の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] 内田竣也, 熊谷昌城, 内海淳志, "液体金属を用いたショットキーバリアダイオードの改良", 第 69 回応用物理学会春季学術講演会予稿集 26a-P02-8 (2022).
- [2] 辻琢人, 長岡史郎, 若原昭浩, "半導体デバイス作製教材の改良", 2020 年度工学教育研究講演会講演論文集 pp. 272-273 (2020).

プラスチックを用いた放射線教育実験における発熱剤利用モデルの提案

Proposal of the Model for the Use of Heating Agents

in Radiation Education Plastics Experiments

舞鶴高専, °(B)市場 颯馬, 石川 一平, 清原 修二, 内海 淳志

NIT (KOSEN) Maizuru, °Soma Ichiba, Ippei Ishikawa, Shuji Kiyohara, Atsushi Utsumi

E-mail: a0492@g.maizuru-ct.ac.jp

1. はじめに

本研究室では, 固体飛跡検出器の一種である PADC (Poly Allyl Diglycol Carbonate) プラスチックを用いた放射線教育方法を提案している

1). この教育方法の可視化過程ではプラスチックを溶かすエッチング工程が必要である. 従来方法のエッチングでは, ガスコンロによる火を使用した高濃度塩基性溶液の沸騰を行う必要があり十分に注意が必要である. 高濃度塩基性溶液を高温にする過程は可視化を行うために, 重要な過程である. そのため本研究では発熱剤を利用することで直火を使用しない実験モデルを提案し, 危険性を低減した実験手法の開発を行った.

2. 実験方法の概要

株式会社協同の特許²⁾を参考に, 発熱剤として, 粉末の生石灰と粉末のアルミニウムを使用し, 発熱助剤は, 炭酸ナトリウム水溶液を使用した. 発熱主剤は, アルミニウム粉末と生石灰を 2:1 の割合で混合した. 発熱助剤は, 炭酸ナトリウムを水に溶解させ約 3.0 wt%の炭酸ナトリウム水溶液を調製した. Table 1 に発熱主剤と発熱助剤の添加量を示す. その発熱剤で NaOHaq 30 wt%のエッチング溶液を温める方法を検討した. エッチング溶液の高温状態を長時間維持するために, 発泡スチロールの保温容器を使用した. 発熱剤による保温容器の溶解を

防ぐため保温容器底部に断熱材を設置し, 上部に発熱剤を入れたステンレスバットを設置した.

Table 1 Amount of Thermogenic substance and Thermogenic auxiliary solution added

Aluminum (g)	20
Calcium oxide (g)	10
Sodium carbonate (g)	2.7
Water (g)	87.3

3. 実験結果の概要

発熱剤を用いたエッチングを 30 分行ったところ, 放射線可視化結果であるエッチピット径が平均 16 μm であった. よって十分に顕微鏡で観測可能であり, 発熱剤を利用した実験モデルが有効であることが確認された. しかし保温容器内部の蒸気が高温であるため, 取り出し時は十分に注意する必要がある.

謝辞 本研究は科研費 基盤 C (24K06401) の助成を受けたものである.

参考文献

- 1) 石川一平, 清原修二, “放射線飛跡を可視化するプラスチック教材を用いた教育方法の実践”, 応用物理教育, Vol.40, No.2, pp.101-106, (2016.12).
- 2) 株式会社協同, “発熱助剤、これを利用した発熱剤および加熱セット”, 特許第 5648068

紫外線表面改質による放射線教育用プラスチックの開発

Development of Plastics for Radiation Education by UV Surface Modification

舞鶴高専, °(B)近藤 慧始, 石川 一平, 清原 修二, 内海 淳志

NIT (KOSEN) Maizuru, °Satoshi Kondo, Ippei Ishikawa, Shuji Kiyohara, Atsushi Utsumi

E-mail: s9111@g.maizuru-ct.ac.jp

【はじめに】 放射線教育は、教員の知識や教材不足等により説明が難しいことが問題となっている。そこで、本研究は放射線飛跡検出器である PADC (Poly Allyl Diglycool Carbamate) プラスチックの開発を行っている。しかし、PADC プラスチックを用いた実験は時間がかかることや、エッチングにおいて劇物を取り扱うといった課題がある。そこで、本研究では PADC に UV を照射することで表面改質を行い、エッチングの時間短縮、劇物の使用量削減について試みた。

【実験概要】 本研究の先行研究¹⁾で UV 照射による PADC の表面改質を行うと、エッチング速度を増加できることがわかっている。Fig.1 に紫外線表面改質を行うプラスチック製造工程を示す。

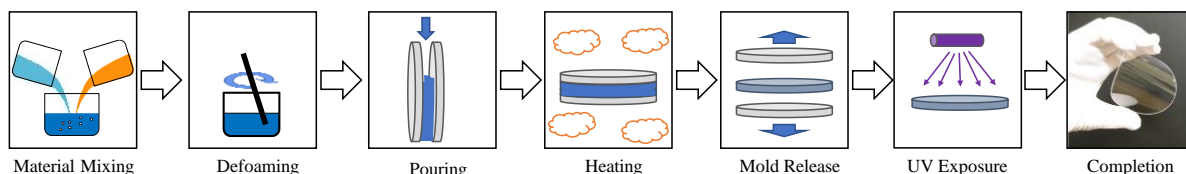


Fig.1 Process of plastic manufacturing with UV surface modification

さらに本研究では、材料混合の段階で、重合禁止剤を微量添加することで、溶けやすさの調整を試みた。添加しないときと比較すると、結合が緩くなり、溶けやすくなることが期待される。

【実験方法と結果】 UV 照射は、強度が約 1.3 mW/cm^2 となる位置において照射した。エッチング方法は、水酸化ナトリウム水溶液 30wt% をホットマグネットスターを用いて 90°C 一定で 10 分間行った。Fig.2 に、実験結果を示す。

重合禁止剤ヒドロキノン添加した PADC では約 100 時間程度の照射時間が必要となった。重合禁止剤が無添加の PADC に UV を 11 時間照射したときと比較した場合、エッチピット径 (放射線の可視化結果) は約 1.5 倍の大きさになった。これにより、エッチングの時間短縮、劇物の使用量削減が見込まれる。

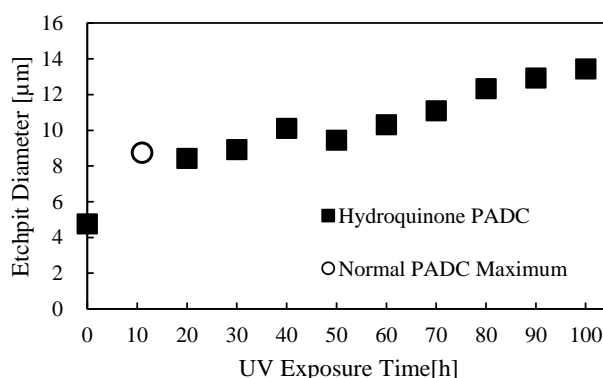


Fig.2 Etch pit diameter depending on UV exposure time

謝辞 本研究は科研費 基盤 C (24K06401) の助成を受けたものである。

参考文献 1) Ippei Ishikawa, Atsushi Kimoto, Shuji Kiyohara, “Development of UV-Irradiated PADC and Improvement of Etching for Reducing Experimental Time”, Materials, Vol. 16(15), 5413 (2023)

Spin On Glass を用いた教育効果の高い pn 接合デバイス作製

Fabrication of p-n junction device with high educational effect by using Spin On Glass

釧路工業高等専門学校¹,[°](B)小林 奈和¹, 井戸川 慎之介¹

National Institute of Technology, Kushiro College¹,[°] N. Kobayashi¹, S. Idogawa¹

E-mail: s240708@kushiro.kosen-ac.jp

はじめに: 半導体デバイスの作製には, 一般的に多くの高額で大きな設備を必要とし, 危険性の高いガスや薬品を使用する. そのため, 学校教育の一環として半導体デバイスを作製することは難しく, 導入には安全に低予算で行える必要がある. そこで本研究では, 汎用性の高い装置を用いた安全かつ低廉な半導体デバイス作製を実現するために, Spin On Glass(SOG)による p 型ならびに n 型ドーパントによる pn 接合形成(ダイオード)の作製実験を行った.

実験構成: デバイスの作製工程を Fig.1 に示す. 20×20[mm]角の Si 基板を洗浄後, 1000[°C]で 1 時間ウェット酸化を行う(Fig.1(a)). 次に選択拡散のため酸化膜を Buffered HF(BHF)により部分開口する(Fig.1(b)). スピンコーターを用いて SOG 剤を塗布し, 窒素雰囲気中の電気炉で 1150[°C], 2 時間熱拡散を行う(Fig.1(c)). 最後に表面の酸化膜を除去し, 真空蒸着法によりアルミニウム電極を形成する(Fig.1(d)). また, 不純物源はそれぞれ p 型ドーパントにはホウ素(B)を用い, n 型ドーパントにはリン(P)を用いた.

製作したデバイスの評価: 作製した pn 接合ダイオードの電流-電圧特性を Fig. 2 に示す. p 型不純物ならびに n 型不純物においても, 順方向電圧を印加した場合に約 0.57[V]で電流が流れ始め, 逆方向電圧を印加した場合には電流が流れない整流性が確認できた.

また, ダイオードの整流方程式より理想係数を求めると, Si-pn 接合の理想値の 1~2 よりも大きい値となった. これは, デバイスの結晶欠陥が多いことを示しているが, 本研究の目的は, 教育効果の高い半導体デバイスの作製であるため, Fig. 2 よりダイオードの基本特性が確認できデバイスの作製が行えているため問題ないとする.

参考文献

(1) 加沢エリト, 野武司, 東京都立産業技術研究所研究報告, 第 4 号 (2001)

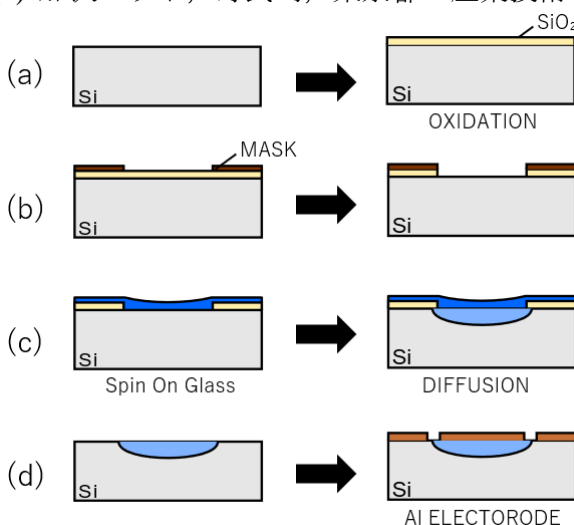


Fig. 1. Fabrication of p-n junctions by SOG.

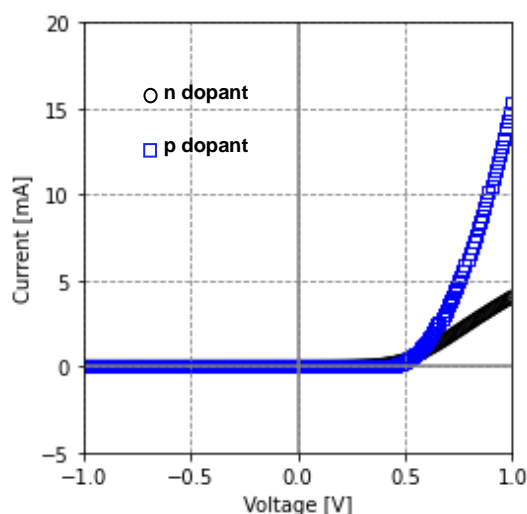


Fig. 2. V-I characteristics.

自然放射線源による Si 半導体検出器の作製

Fabrication of Si-semiconductor detectors for natural radiation sources

釧路工業高等専門学校¹, °(B)小林 奈和¹, 井戸川 慎之介¹

National Institute of Technology, Kushiro College¹, ° N. Kobayashi¹, S. Idogawa¹

E-mail: s240708@kushiro.kosen-ac.jp

はじめに: 廃炉や革命炉, 宇宙用として汎用的に使用可能な, 耐放射線半導体デバイスの開発が行われている. しかし, 一般の半導体デバイスに用いられてきた Si 半導体は放射線の影響により特性劣化や誤作動が発生する課題を有している. この課題に対して, 主に半導体材料をワイドバンドギャップ材料に変更することで外部影響の抑制している. また, 耐放射線性を評価する場合, 放射線施設を利用した大線源照射を行うことでデバイスの特性劣化を観察する. そのためひとつの研究室でデバイス作製と評価を一貫して行うことは難しい. 本研究では, 半導体デバイスにおける安価かつ簡便な耐放射線評価を実現するため, 自然放射線源(カリウム 40)を用いたフォトダイオードの半導体検出器の作製を行った.

デバイス設計と製作: 設計したフォトダイオードの断面層構造を Fig. 1 に示す. フォトダイオードの構造は, $20 \times 20 [\text{mm}^2]$ 角の Si 基板両面へ Spin On Glass(SOG)による不純物拡散により形成した. 拡散はそれぞれ窒素雰囲気下で, p 型ドーパントにはホウ素(B)を 2 時間, n++型ドーパントにはリン(P)を 3 時間, $1150 [^\circ\text{C}]$ で熱拡散を行った.

製作したデバイスの評価: 作製したフォトダイオードの電流-電圧特性を Fig. 2 に示す. 作製したフォトダイオードの特性は立ち上がり電圧が $0.55 [\text{V}]$ を示した. また, ダイオードの整流方程式より理想係数は 3.68 であり, 可視光の照射による光起電力を確認した. また, 電荷増幅器を用いて自然放射線源による放射線の検出をオシロスコープにより確認した.

謝辞: 本研究は原子力規制人材育成事業の助成を受けたものである.

- (1) 関口信忠, 阪井英次, ”半導体検出器による放射線測定”, RADIOISOTOPES, vol15, No.6, pp.393-404(1966)
- (2) 小林久信, ”半導体検出器”, RADIOISOTOPES, vol.13, No.4, pp.323-328(1964)

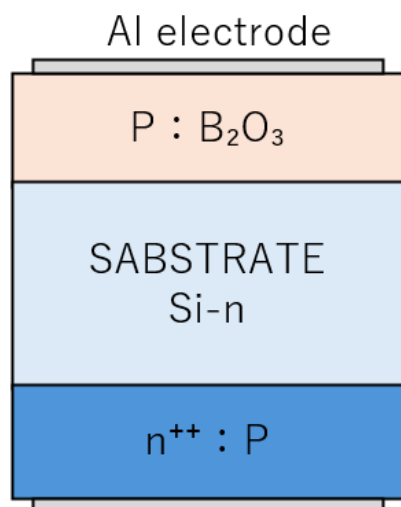


Fig. 1. Cross-section schematic of photodiode.

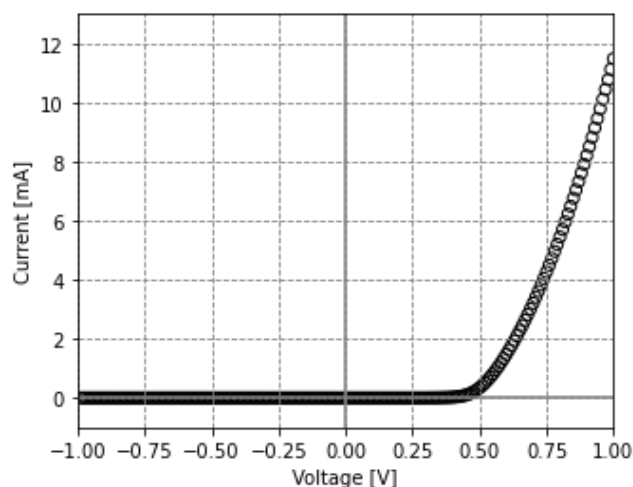


Fig. 2. V-I characteristics.

MOD 法による BSCCO／n 型半導体ヘテロ接合の試作

Prototyping of BSCCO/n-type semiconductor heterojunction using MOD method

小山高専¹ °山田 靖幸¹, 笠井 大夢¹, 延島 聖人¹, 伊倉 秀羽¹

NIT, Oyama College¹, °Yasuyuki Yamada¹, Hiromu Kasai¹, Masato Nobushima¹, Shu Ikura¹

E-mail: yyamada@oyama-ct.ac.jp

超伝導体／半導体ヘテロ接合は、ショットキー接合や pn 接合を形成した場合、様々な光応答特性を示すことが予想される。また、オーミック接触の形成もキャリアを半導体に注入するのに重要な役割を果たし、例えば超伝導体直上に pn 接合を作製する場合に重要な技術となる。いずれの場合も、素子設計の自由度の観点から 1 種類の超伝導体の上に p 型と n 型の両方の半導体薄膜を作製でき、薄膜作製から微細加工までを低環境負荷かつ簡便な方法で行える方が好都合である。これまでに有機金属分解 (MOD) 法による Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ} (BSCCO) の作製[1]とクエン酸エッチングによる最小幅 75μm のブリッジの作製[2]に成功しているほか、BSCCO／p 型半導体ヘテロ接合として、BSCCO / Cu_xO 接合の作製を行い、良好なオーミック接触となることを確認している[3]。本研究では、MOD 法による BSCCO／n 型半導体ヘテロ接合の作製の試みについて報告する。

まず、n 型半導体として ZnO、NbO_x の作製と特性評価を行った。ZnO、NbO_x の各薄膜の成膜には、(株)高純度化学研究所製の Zn-O 原料溶液 (Zn-05)、Nb-O 原料溶液 (Nb-05) を用いた。使用基板は、サイズ 10×10×0.5 mm の(株)大興製作所製石英ガラス基板 (Labo-USQ) である。溶液のスピンコートには、(株)エイブル製のスピンコーター (ASC-300) を用いた。熱処理は(株)デンケン製のマッフル炉 (KDF-P70) により行った。ZnO、NbO_x のそれぞれの熱処理温度の範囲は、800 ~ 1000℃および 600 ~ 1000℃の範囲とし、雰囲気は O₂、Air、Ar の 3 種類で行った。熱処理時間は 1 時間とした。作製した薄膜について、透過率を測定してタウツプロットによるバンドギャップの評価を行った。透過率の測定は(株)島津製作所製の紫外可視分光光度計 UVmini-1240 を用いた。

タウツプロットによりバンドギャップを推定した結果を表 1、表 2 に示す。ZnO については、いずれの条件においても 3.2 ~ 3.3 eV となった一方、NbO_x については試料によるばらつきが大きく、今後詳細な検証が必要である。BSCCO との接合の特性などの他の結果の詳細については、当日報告する予定である。

参考文献

[1] Y. Yamada, T. Kato, T. Ishibashi, T. Okamoto, and N. Mori, AIP Advances 8, 015101 (2018), Y. Yamada, N. Mori, T. Atsumi, T. Kato, T. Ishibashi, Physics Procedia 65, 165 (2015)

[2] Y. Yamada, T. Okamoto, Journal of Physics: Conference Series 1590, 012046 (2020)

[3] 山田 靖幸, 延島 聖人, 伊倉 秀羽, 笠井 大夢, 2023 年 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-C401-3, 熊本城ホールほか 3 会場&オンライン

Table 1. Bandgap of ZnO thin films.

Annealing temperature [°C]	O ₂	Air	Ar
800	3.2	3.3	3.3
900	3.2 ~ 3.3	3.3	3.2 ~ 3.3
950	3.3	3.3	3.2
1000	3.2	3.2	3.2

Table 2. Bandgap of NbO_x thin films.

Annealing temperature [°C]	O ₂	Air	Ar
600	3.8 ~ 4.2	4.2	3.8 ~ 4.3
700	3.7 ~ 4.1	4.0	3.7 ~ 4.2
800	3.4 ~ 3.9	4.0	3.3 ~ 4.0
900	3.4 ~ 3.9	4.0	3.4 ~ 3.9
1000	3.5 ~ 3.9	4.1	3.4 ~ 3.9

ガス/電気化学複合システムによるパラジウムおよびパラジウム基合金 円筒の水素透過特性評価

Evaluation of Hydrogen Permeability Properties of Palladium and Palladium-Based Alloy Cylinders

Using a Gas/Electrochemical Composite System



東海大院工¹, ^{○(M1C)}小倉 博人¹, 原田 亮¹, 内田 ヘルムート貴大¹

Tokai Univ.¹, ^{○(M1C)}Hiroto Ogura¹, Makoto Harada¹, Helmut Takahiro Uchida¹

E-mail: helmutuchida@tokai.ac.jp

世界の鉱物資源や化石エネルギーは有限である[1]. 日本においては 2019 年度時点で国外へのエネルギー依存率は 88.3 %と高い水準を示しており[1], エネルギーの選択肢を増やすことがエネルギー安全保障上の観点より求められている. この中で環境負荷が小さく有望な代替エネルギーの一つとして注目される水素エネルギーについて, 政府は 2050 年までに年間 2,000 万トンの水素導入を目標に掲げており, 一部の水素自動車などですでに実用化されている[2]. しかし, その本格活用に向けては高純度水素の安価で安定した製造技術の確立が不可欠である.

固体高分子型燃料電池の燃料用水素には 99.9999 %以上の純度が求められる. 高純度化技術には PSA 法などの複数の手法があるものの, 金属製の水素透過膜を用いる方法も存在する[3,4]. 特に, 膜反応器と呼ばれるメンブレンリアクターには円筒の形状をした水素透過膜が用いられ, パラジウムとその合金でできた円筒形金属内での水素拡散については, 数多くの先行研究が行われている[5-8]. 水素透過膜としては現在, パラジウム(Pd)およびその合金の膜が広く利用されている[9]. 特に Pd と銀(Ag)の合金膜は Pd に比べて高い透過性を示すことが報告されている[10]. 同時に, Ag を添加することによる固溶強化の他, 水素導入による過度な体積膨張を防ぎ, 透過性と同時に高い耐久性を示すことも報告されている[9,11].

本研究では, 円筒形 Pd セルを用いた水素透過評価システムを構築した. 長さ 100 mm, 直径 3.0 mm, 厚さ 0.2 mm の Pd 円筒(純度 99.95 at.%)の内部を制御した圧力の水素ガスで満たし, 外部を電気化学セルの電解液に接触させた. 円筒全体に接触する溶液温度を制御することで, 様々な温度条件下での水素の透過挙動を評価した. Fig. 1 は横軸に時間 t [s], 縦軸に室温で測定した EMF ポテンシャル U [V]をプロットしたものである. 室温において水素ガスを導入した場合, タイムラグは 65 s と計測され, これを適用した結果, Pd 中の水素拡散係数は $D = 1.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ と計算された.

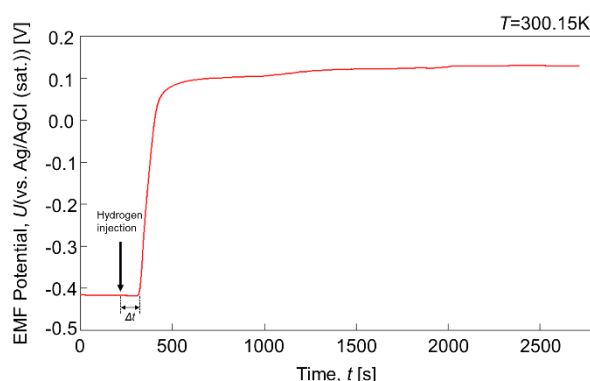


Fig. 1 Time evolution of the measured EMF values at the output side (electrolyte side) of the hydrogen permeation experiment in the outward direction using a Pd tube sample with hydrogen gas inside (H_2 gas was introduced into the tube at time indicated by the arrow).

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁, 『令和 3 年度エネルギーに関する年次報告書』, https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/pdf/whitepaper2022_all.pdf, 参照日:2023 年 6 月 25 日
- [2] 内閣官房, 『水素基本戦略(改定)』, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_2.pdf, 参照日:2023 年 6 月 25 日
- [3] 佐藤 剛一, 『パラジウム金属膜による高純度水素分離と化学反応への展開』, まてりあ, **50**, (2011), 11-18.
- [4] 春名 一生, 『圧力変動吸着法(PSA 法)によるガス分離技術』, 真空, **43**, (2000), 1088-1093.
- [5] M. Auinger *et al.*, *Int. J. Hydrogen Energy*, **48**, (2023), 34454-34462.
- [6] J. Crank, "THE MATHEMATICS OF DIFFUSION SECOND EDITION", (1975), CLARENDON PRESS.
- [7] R.C. Frank and J.E. Thomas, Jr., *J. Phys. Chem. Solids*, **16**, (1960), 144-151.
- [8] A. Van Wieringen and N. Warmoltz, *Physica*, **22**, (1956), 849-865.
- [9] B. Sharma and J. Kim, "Pd/Ag alloy as an application for hydrogen sensing", *Int. J. Hydrogen Energy*, **42**, (2017), 25446-25452.
- [10] H. Amandusson *et al.*, "Hydrogen permeation through surface modified Pd and PdAg membranes", *J. Membr. Sci.*, **193**, (2001), 35-47.
- [11] 鈴木 飛鳥ら, 『Pd-Ag 合金膜の水素透過能における特異的な温度依存性と水素の化学ポテンシャルに基づく解析』, 日本金属学会誌, **81**, (2017), 327-334.

超薄膜への非破壊可逆電気コンタクトプローブ

Non-Destructive Soft Electric Contact Probe for Ultra-thin Films and Fragile Specimens

物材機構¹, 鈴鹿高専², 山梨大³ ◯吉武 道子¹, 小俣 香織^{2,3}, 兼松 秀行²

NIMS¹, NIT-Suzuka², Univ. Yamanashi³ ◯Michiko Yoshitake¹, Kaori Omata^{2,3}, Hideyuki

Kanematsu²

E-mail: yoshitake.michiko@nims.go.jp

AFM において非破壊測定とみなされている弾性変形領域の圧力を, AFM のような精密な制御無しに目視で調整できるプローブを開発・特許化し, 標準サイズについてはすでに市販されている。このソフトプローブを用いると, 脆い材料を破壊せずに電気特性測定や電圧印加を行うことができ, 蒸着により電極形成すると蒸着金属が試料内部に潜り込んでしまう SAM 膜やポーラスな試料でも電極金属が試料内部に潜り込む心配はない。Fig. 1 に様々なサイズのソフトプローブの外観写真を示す。市販のプローバーで通常の針状探針と交換して脱着可能な設計となっている。

電氣的に接触している面積を一定に保つ必要がある電気容量測定などの測定用に, コンタクト圧を変化させても接触面積が保たれるプローブの開発について, レーザーリソグラフィーを用いた場合の最適条件の検討を行った。Fig.2 は最適条件で作製した Pt プローブの写真である。リソグラフィーによる方法の難点は, 費用が高価, 接点となる金属の露出面が周りのレジストから凹になっており接触面をうまく試料に押し付けるのが難しい点である。レジスト塗布 Au 半球に穴の開いたガラス版を押し付けて接点となる金を凸形状にする (でべそ型) ことで, この何点を解決した (Fig.3)。

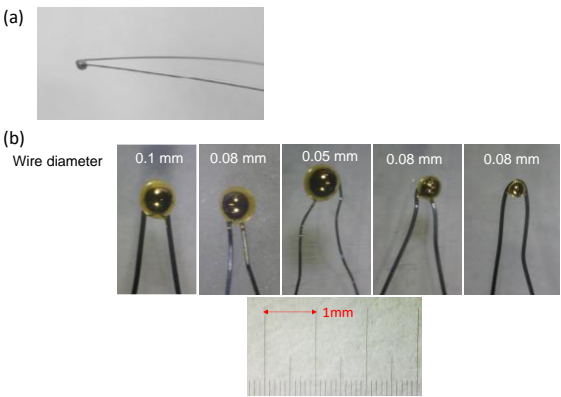


Fig. 1 Various types of soft probes.

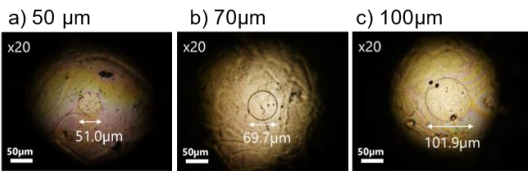


Fig. 2 Area-controlled Pt probes.

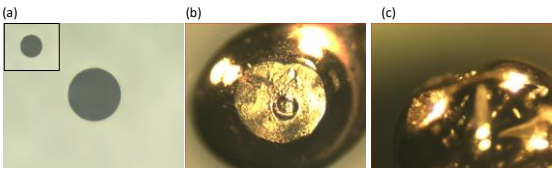


Fig. 3 Glass hole(a) and probe with convex made by the glass.

Table Conditions of laser lithograph and quality of resulting probes.

	Vacuum Dry	Pre-Bake	Pre-Bake + Post-Bake	Pre-Bake + Post-Hard-Bake
φ70 μm	Good	good	good	black
φ50 μm	bad	good	good	black
φ30 μm	bad	better than bad	good or better than bad	black

マイクロレンズとしての酵母細胞の集光特性と屈折率の測定

Measurement of Light-Focusing Properties and Refractive Index of Yeast Cell as a Microlens

¹東工大 OFC マイクロプロセス [○]松谷晃宏 ¹

¹Tokyo Institute of Technology

[○]Akihiro Matsutani¹

E-mail: matsutani.a.aa@m.titech.ac.jp

自然界において球というのは極めて基本的な姿である。撥水構造をもつ葉の上にできた水滴はそのよい例である。この球状の水滴に日光が当たれば、その反対の側では集光点が観察されるように自然界の球状の物体は光学デバイスとしての機能を保有している。生物由来の球状細胞はイクラのような魚卵だけではなく微生物の細胞にも多く、パン酵母も球に近い形状の単細胞真核生物モデル生物である。酵母細胞の顕微鏡観察中に、筆者は酵母細胞の曲面がレンズと機能して光が収束される事象が観察し、この現象の光学教材への応用を考えた。しかし、直径数 μm の球状の微生物細胞をレンズとしてその結像特性評価をした例はほとんどない。今回は、マイクロレンズとしての酵母細胞の集光特性と屈折率を測定したので報告する。

屈折率の測定方法は、半導体レーザ (波長 670 nm) のコリメート光を球状試料に透過させてバックフォーカスの距離 (BFL) を測定し、試料の曲率半径などの情報から幾何学的に屈折率を求めるという実験方法を用いた。まず、この方法での屈折率の測定の可否をサファイアのボールレンズを用いて測定したところ、既知の数値と同等の屈折率 (1.75) が得られ、実験方法の妥当性が検証された。次に、市販のドライイーストを用いて同様に BFL の長さを測定した。ドライイーストは水中で分散させてスライドガラス上に滴下して大気中で乾燥させた。図 1 (a) と 1 (b) に酵母細胞の光学顕微鏡像と集光スポットを示す。測定には 100 倍の対物レンズ (NA 0.75) を用いた。酵母細胞の集光スポットサイズは小さな円形を示し良好なレンズ特性をもつことがわかる。測定された酵母細胞の BFL は 3.7~3.8 μm であった。実際の酵母はボールレンズというよりは厚い両凸レンズ形状であるため、両凸面の曲率半径を SEM 写真からフィッティングにより測定した。図 1 (c) に SEM 像と曲率半径のフィッティング円を示す。細胞両曲面の曲率半径は約 3 μm であり、これらの数値を厚い両凸レンズの式に当てはめると屈折率は約 1.34~1.35 と見積もられた。酵母細胞はレンズとしての良好な集光機能をもつことから、光学教材の他に微小光学素子としての応用も期待できる。本研究は JSPS 科研費 JP24K06352 の助成を受けたものです。

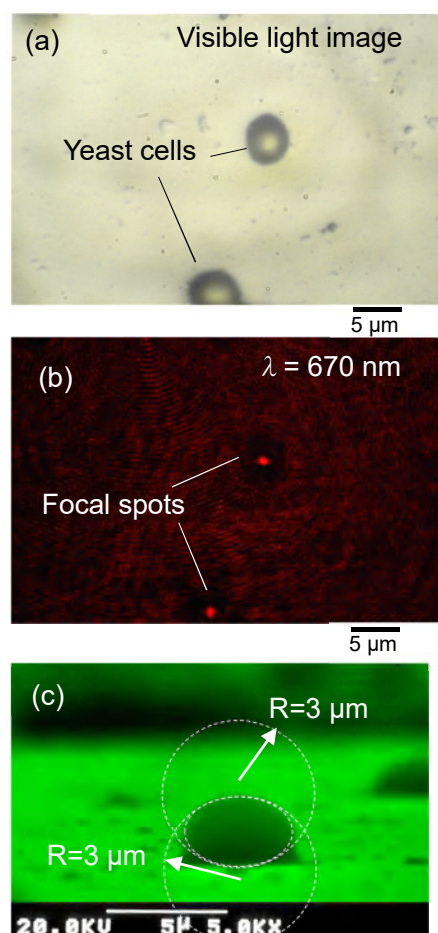


Fig. 1 Optical microscope and SEM images of yeast cells: (a) visible light, (b) focused image of semiconductor laser light, (c) SEM image and radius of curvature.

ヴィオラの周波数特応答と駒の関係

Relationship between Frequency Response and Bridge in Viola

東京工業大学 ○松谷晃宏

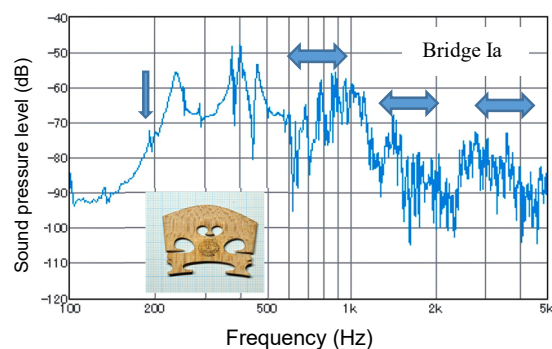
Tokyo Institute of Technology ○Akihiro Matsutani

E-mail: matsutani.a.aa@m.titech.ac.jp

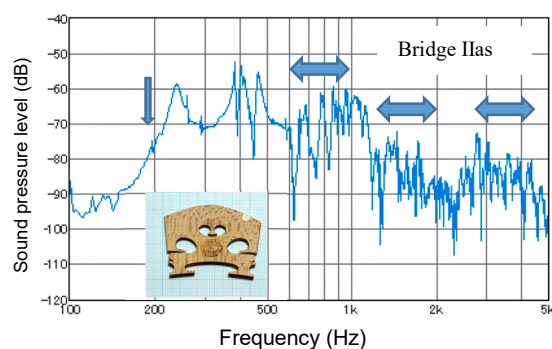
弦楽器は共鳴箱としての胴体に弦を張って弦をはじいたり擦ったりして弦を振動させることで音を発する。ヴァイオリンやヴィオラ、チェロでは、4本の弦を支える駒が弦と胴体の間にあり、弦の振動を胴体に伝える役割を担っている。4本の弦により駒に生じる応力状態はエポキシ樹脂の駒を用いた光弾性実験により観察でき、筆者はその結果を以前に報告した[1]。駒については、その大きさや高さによって楽器の音色（周波数特性）が変わることは経験的によく知られているが、駒の形状のわずかな違いと楽器の周波数特性の実際に報告された例はほとんど見当たらない。今回は、筆者のヴィオラの駒を交換する機会を利用してヴィオラの駒の形状の違いと周波数特応答の関係について測定したので報告する。

実験には2003年製のヴィオラを用いた。A, D, G, C弦は合成繊維弦を用いた。周波数応答の測定は、A=440 Hzを基準にピタゴラス音律で調弦し、V字振り子を用いたタッピング[2]により駒のC弦側の上方の角を励振し、駒から約20 cm離れたマイクロフォンで收音して周波数分析した。駒はIa, IIasおよびIIIdの3種類の駒を用いた。駒IIasは駒Iaと同一形状で中央部の高さが約1 mm低い駒である。駒IIIdは駒Iaと同一高さで幅と穴の位置が異なる駒である。図1に実験で得られた周波数応答を示す。駒IIasでは、駒Iaと比較するとG弦の周波数（約196 Hz）近傍、600 Hz~1 kHz帯、1~2 kHz帯、2 kHz~5 kHz帯で周波数応答が異なる傾向を示した。駒IIIdは600 Hz~1 kHz帯、1~2 kHz帯、2 kHz~5 kHz帯で駒Iaと周波数応答が異なる傾向を示した。これらのことから、駒の形状による音色の相違を測定可能なことが示され、本実験で用いた楽器と駒と弦の音響系では、600 Hz~1 kHz帯に駒の高さの違い、1~2 kHz帯、2 kHz~5 kHz帯に駒の幅や形状の違いが現れたと考えられる。本研究が弦楽器奏者への一助となれば幸いである。

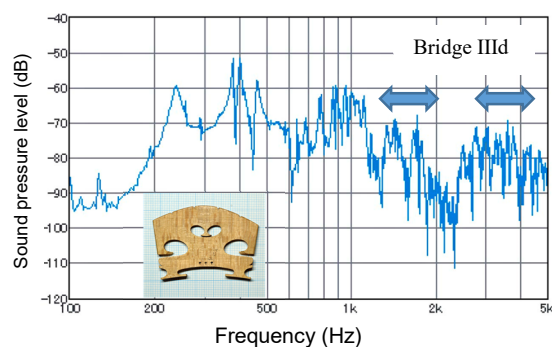
[1] A. Matsutani, Jpn. J. Appl. Phys. **41** (2002) 6291. [2] A. Matsutani, Acoust. Sci. & Tech. **44**, 3 (2023) 302.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 Frequency response of a viola with three different bridges; (a) bridge Ia, (b) bridge IIas, (c) bridge IIId.

バイポーラ電気分解による金の KCl 水溶液への抽出法の改良

Improvement of the Extraction of Gold into KCl Aqueous Solution with Bipolar Electrolysis



工学院大化学応用学専攻¹, 工学院大教養² ○(PC)吉澤 深玖¹, 高見 知秀²

Appl. Chem. & Chem. Eng. Prog. Kogakuin Univ.¹, Liberal Arts Kogakuin Univ.²,

°(M1) Miku Yoshizawa¹, Tomohide Takami²

E-mail: bm24051@g.kogakuin.jp, takami@cc.kogakuin.ac.jp

金の回収に通常用いられる王水は劇物であるため、王水を使わずに金を安全に回収する方法の開発が環境化学の分野で期待されている。本研究では、交流(AC)バイポーラ電気分解法を用いて、王水や強酸を用いずに電子廃棄物から金を回収する手法の改良を行った。

【序論】携帯電話 1 台には約 48 mg の金が含まれており、日本で毎年廃棄される使用済み携帯電話すべてから金を回収することができれば、約 80 億円相当の金を得られることになる[1]。通常、金の抽出・回収には王水が使用される[2]が、王水は毒物及び劇物に指定されている。

一方、我々の研究室では、アルカリハライドや海水の電解を用いることで金を溶解できることを見出し[3]、王水や強酸などの有害物質を使用せずに、KCl 水溶液と電気を用いることによって金を回収する方法を開発した[4]。そこで本発表では、回収率向上のために行った装置改良について報告する。

【実験】図 1 に装置の模式図を示す。本研究では炭素板を電極として交流バイポーラ電気分解法[5]を採用した。周波数 200 Hz の交流信号を AC generator (GW INSTEK AFG- 2005)で生成して、bipolar power supply (NF BP4610)を用いて 60 V に増幅してカーボン電極間に印加した。印加した交流は電流電圧計 (ADCMT 7352E) でモニターした。本研究では、更に効率的に電気分解を行うために電極間にテフロンを設置して試料への印加電圧を上げた。

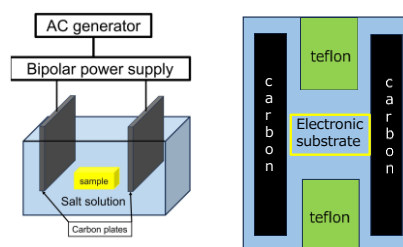


Fig. 1: Schematics of the apparatus (left) and the improved geometry of the apparatus (right).

【結果と考察】試料に金を用いた交流電気分解により塩化金酸だけでなく次亜塩素酸も発生することが確認された。また、印加する交流電場を狭める事により、より効率的に電気分解を行うことが出来ることを確認した。そして実際の電子基板を用いて電気分解を行ったところ、電子基板に含まれている金が KCl 水溶液に溶け出していることが確認できた。今後は溶液に添加剤を加えて回収率を向上させることも検討している。

【参考文献】

- [1] Ministry of the Environment, Japan, "White Paper on Environment, Material-Cycle Society and Biodiversity" (in Japanese) 2012. <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h24/html/hj12010403.html>
- [2] R. Sousa *et al.*, Extract. Indust. Soc., **9**, 101018 (2022).
- [3] K. Oya *et al.*, Chem Lett., **50**, 191 (2021).
- [4] M. Yoshizawa *et al.*, doi.org/10.21203/rs.3.rs-4227225/v1
- [5] S.E. Fosdick *et al.*, Angew. Chem. Int. Ed., **52**, 10438 (2013).

High Nickel Extraction From Indonesian Nickel Laterite Ore by Atmospheric Microwave Roasting-Leaching Method

A. J. Muhammad¹, K. Nakagawa¹, I P. A. Karya⁵, A. Ndita², L. O. M. Darusman³, I. N. Sudiana²,
L. Agus², F. Nishimura⁴, T. Nishiumi⁵, T. Asano⁵, S. Mitsudo⁵

¹FIR Center, Univ. of Fukui, ²Dept. of Phys. Univ. Halu Oleo, ³Dept. of Chem. Univ. Halu Oleo,

⁴HISAC, Univ. of Fukui, ⁵Fac. of Eng., Univ. of Fukui

E-mail: amd19803@g.u-fukui.ac.jp

The use of batteries as energy storage devices is rapidly progressing towards achieving a carbon-neutral society. Nickel, a material traditionally used for stainless steel, is now being explored as a high-efficiency battery material. However, the current process of refining nickel involves significant carbon usage, leading to CO₂ emissions. One interesting technique for nickel extraction is the sulfation-roasting-leaching method, which can be carried out at atmospheric pressure without CO₂ emission. In this process, nickel is converted into a soluble sulfate form [1]. However, the drawback of this technique is the need for high-temperature roasting, which leads to the decomposition of hematite and metal sulfate then reduced nickel content in the pregnant leaching solution (PLS) [1,2]. Microwave heating is considered to be one method that can meet these demands. It has been reported that using microwave heating increases the diffusion effect. In this experiment, microwave was employed in the roasting of a mixture containing H₂SO₄ and nickel laterite ore (0.8 mL/g). The concentration of nickel in the PLS was analyzed using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) as part of this experiment.

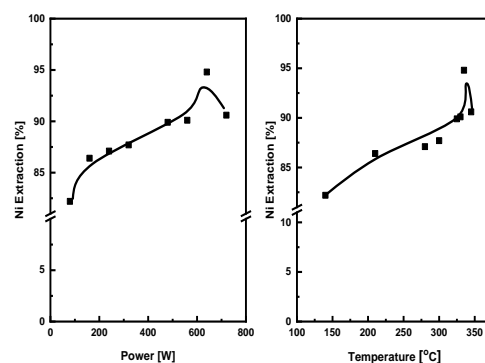


Fig. 1. The percentage of nickel extraction

Figure 1 shows the microwave power and temperature dependence of nickel extraction. It can be seen that once the temperature reaches 337 °C, the boiling point of sulfuric acid, the temperature no longer increases even when the microwave power is increased. However, nickel extraction is increasing, and the highest nickel extraction rate (94.8 %) was obtained when the microwave power was 640 W (DR 80 %) at temperature about 335 °C for 30 minutes. In microwave heating, compounds containing certain elements, such as nickel and iron, selectively absorb microwave energy. We believe that this selective heating creates an appropriate non-equilibrium thermal field, allowing extraction to occur but preventing decomposition. In this non-equilibrium thermal reaction field created by microwaves, most of nickel oxide to react with sulfuric acid to form nickel sulfate (NiSO₄) which is highly soluble in water.

References

- [1] X. Guo., *et al.*, Hydrometallurgy, vol. **99** (2009), pp. 144-150.
- [2] P. P. M. Riberio., *et al.*, J. Mater Res. Technol., vol. **9** (2020), pp. 12404-12415.

マイクロ波減圧蒸留法を用いた福井梅酢の再資源化への検討

A Study on Recycling Fukui Ume Plum Vinegar using Microwave Vacuum Distillation Method

福井大工¹, 福井大産学官², 福井大遠赤セ³ ◯鶴尾 未来¹, 大久保 証¹, 岩本 拓馬¹,
片山 大和¹, 照井 大和¹, 山口 光男², 仲川 晃平³, 西海 豊彦¹, 浅野 貴行¹, 光藤 誠太郎¹
Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui¹, HISAC, Univ. of Fukui², FIR Center, Univ. of Fukui³,
◯Miku Tsuruo¹, Masaki Okubo¹, Takuma Iwamoto¹, Yamato Katayama¹, Yamato Terui¹,
Mitsuo Yamaguchi², Kohei Nakagawa³, Toyohiko Nishiumi¹, Takayuki Asano¹, Seitaro Mitsudo¹,
E-mail: mf230919@g.u-fukui.ac.jp

福井梅 (図 1) は、福井県南西部にある若狭地方の三方五湖周辺を中心に栽培が進められており重要な地域の産業となっている。福井梅を梅干しとして加工する際、白梅酢という梅を塩水につけた後の残液が大量に出る。この残液は、高塩分・高酸度のため活用が困難であり、そのまま廃棄されることが問題となっている。一方、梅酢から抽出した梅酢ポリフェノールは、様々なウイルスに対して不活化作用や複製阻害作用を持つことが報告されている[1]。梅には有効成分が豊富に含まれているため、抗酸化作用や疲労回復作用など様々な効果が認められており、食品や美容品への活用が期待される。また、梅の芳香蒸留水は爽やかで甘酸っぱい香りがするため、アロマウォーターとしても楽しまれている。我々これまでに、マイクロ波減圧蒸留装置を開発し、その高いエネルギー効率を利用して、廃材から精油抽出やオリーブポマースの乾燥を行い、農産廃棄物の再資源化に取り組んできた。この技術を活かし、問題となっている梅加工時の廃液から効能を持つ芳香蒸留水と塩を生成し、再資源化を目指すべく研究を行っている。



図 1. 福井梅 (紅映)

今回、入手しやすい試料としてまずは、赤梅酢 100 ml を用いて様々な条件下でマイクロ波減圧蒸留実験を行った。条件は、装置圧力がそれぞれ 73 hPa (55 °C) , 202 hPa (65 °C) , 405 hPa (80 °C) , 607 hPa (95 °C) とし、全ての圧力条件に対してマイクロ波は 1000 W を 5 秒照射、5 秒停止のように間欠的に照射した。沸点温度から急激に温度上昇が見られた場合にはマイクロ波照射を完全停止させた。全ての条件において、20 分以下で芳香蒸留水と梅塩に分離することができた。芳香蒸留水を GC-MS で分析した結果、梅の香りの主成分とされているベンズアルデヒドが含まれていることを確認できた。本講演では白梅酢に対する結果を含めて、より詳細な芳香蒸留水や塩の分析結果について報告する。

[1] 紀州田辺うめ振興協議会、2022/3/18、梅ポリフェノールが新型コロナウイルスに対して阻害効果を持つことが明らかに、https://www.tanabe-ume.jp/utility_and_functionality/kenkyu2021/

マイクロ波加熱により生成した廃棄物由来粗水素を用いた メタネーション

Methanation using waste-derived crude hydrogen produced by microwave heating

福井大工¹, 福井大遠赤セ² ○影山 陽大¹, I.P. Abdi Karya¹, 仲川 晃平², 西海 豊彦¹,

浅野 貴行¹, 光藤 誠太郎¹

Dept. of Applied Phys., Univ. of Fukui¹, FIR, Univ. of Fukui² Y. Kageyama¹, I.P. Abdi Karya¹,
K. Nakagawa², T. Nishiumi¹, T. Asano¹, S. Mitsudo¹

E-mail:mf230684@g.u-fukui.ac.jp

メタネーションとは、二酸化炭素と水素を触媒上で反応させ一酸化炭素と水を生成した後、一酸化炭素と水素を反応させることでメタンを生成する手法である。メタン燃焼時に排出される温室効果ガスである二酸化炭素を循環的に利用可能なことから、脱炭素社会の実現への貢献が期待されている。一方、水素の貯蔵や運輸に関する費用や、二酸化炭素と比較すると多量の水素を使用するといった点で課題を抱えている。そこでこの課題を解決するために廃棄物であるプラスチックやバイオマスの熱分解によって回収したガスに含まれる二酸化炭素と水素を用いたメタンの生成を試みた。また、廃棄物の熱分解には、短時間・省エネルギーかつ高収率で水素を生成可能なマイクロ波照射により実施した^{[1][2]}。

本研究では、セルロースのマイクロ波照射による熱分解によって生成された粗水素を、マントルヒーターによって加熱したニッケル系触媒に流入させた後、水上置換によって捕集した。また、捕集したガスの解析にはガスクロマトグラフィー質量分析計(GC-MS)を使用した。

図1は、セルロース由来の粗水素と使用した場合の各温度におけるニッケル系触媒による生成ガスの割合である。400℃の場合に最も多くメタンの生成を確認した。一方、二酸化炭素も多く生成した。

このセルロース由来の粗水素によるメタン生成プロセスの詳細や他の材料由来のガスを使用したメタネーションについては当日発表する予定である。

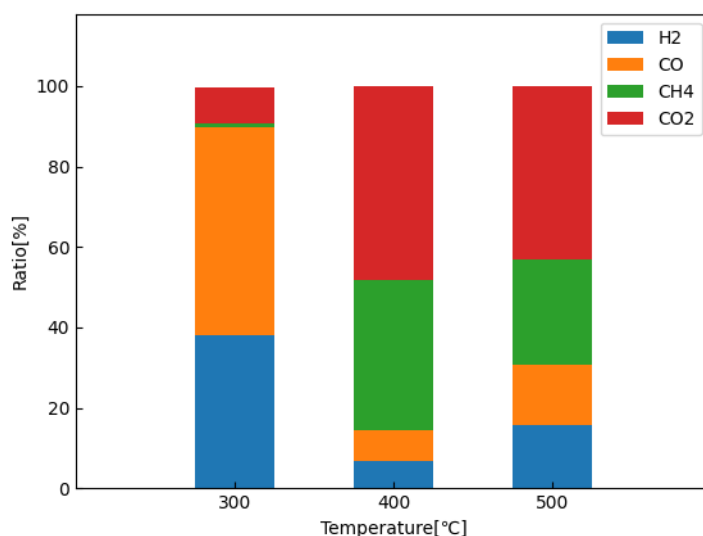


Fig1.Proportion of gas generated at each temperature

[1] X. Jie *et al.*, Nature Catalysis, **3** (2020) 902.

[2] 仲川ら, 第84回応用物理学会秋季学術講演会 22p-A306-2 (2023).

水素雰囲気中における Ni 担持 CaCO_3 単結晶基板からのメタン生成Methane generation from Ni-plated CaCO_3 substrate under H_2 atmosphere東海大学大学院工学研究科¹, 東海大学マイクロ・ナノ研究センター²○(M2)岡本陽佑¹, (D2)吉田有章^{1,2}, 源馬龍太^{1,2}Graduate School of Engineering, Tokai Univ.¹, Micro/Nano Technology Center, Tokai Univ.²,○(M2)Yosuke Okamoto¹, (D2)Tomoaki Yoshida^{1,2}, Ryota Gemma^{1,2}

E-mail: 3cajm011@mail.u-tokai.ac.jp

1. 緒言

近年、化石燃料の大量消費による二酸化炭素 (CO_2) 濃度の上昇による地球温暖化が深刻な問題となっている。炭酸塩は、 CO_2 の固定化能が高く、固定化後の生成物が安定であり豊富に存在していることから、カーボンリサイクル技術の有望な材料として期待されている。先行研究において、 CaCO_3 -Ni 粉末試料に H_2 ガスを流すことでメタンの発生が確認された[1]。これは、 CaCO_3 内部の炭素がメタン生成に供給される可能性を示唆している。本研究では、薄膜作製法により人工的に金属/炭酸化物界面を作製し、この界面近傍におけるメタン生成による体積変化について調査することとした。

2. 実験方法

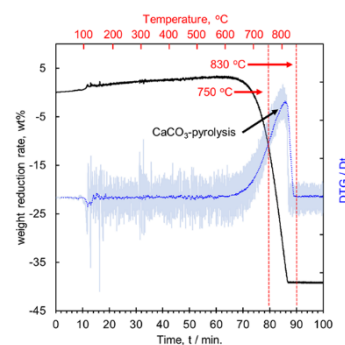
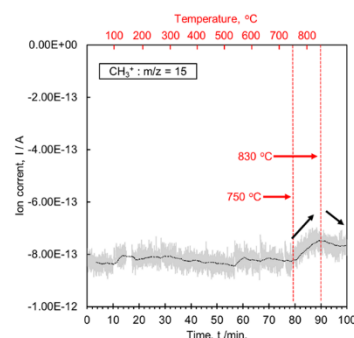
本研究では、粉末と基板の2種類の試料を用意した。基板試料は $\text{CaCO}_3(100)$ 単結晶基板上に DC マグネトロンスパッタリングにより Ni を成膜し、人工的に界面を形成した。熱処理前後に触針式膜厚計および SEM を用いて界面近傍の形状測定・観察を行った。また、TG-MS を用いて熱重量分析とガス分析を行い、基板試料からのメタン生成について調査した。粉末試料は、含浸法にて Ni30wt%- CaCO_3 混合粉末を作製した。熱処理前後で XRD を用いて相の同定を行った。また、TG-MS を用いて熱重量分析とガス分析を行いメタン生成について調査した。

3. 実験結果

図1に基板試料での TG 測定の結果を示す。熱分解反応による一段階の反応が確認できた。図2に同時に測定した、QMS 測定の結果を示す。熱分解反応と同時にメタンのフラグメントイオンである CH_3^+ のイオン電流値の増加が確認された。つまり、熱分解反応と同時にメタンが生成し、終了時に最大値を示すことが明らかとなった。粉末試料では、熱分解反応温度より低温でメタンの生成が確認されている。本発表では、粉末試料からのメタン生成挙動の調査結果と、基板試料の界面近傍における形状変化についても報告を行う。

4. 参考文献

[1] T. Hayashi K. Sawahara, R. Gemma, J. Adv. Sci. 34, 34103 (2022) (in Japanese).

図1 Ni/ CaCO_3 基板 TG 測定結果図2 Ni/ CaCO_3 基板 QMS 測定結果

触媒金属/炭酸化物 複合粉末を用いた CH₄ 生成の繰り返し性能

Cyclic Performance of CH₄ Generation

from Metal/Carbonate Composite Powder

東海大院工¹, 東海大マイクロ・ナノ研究開発センター²

○(D) 吉田 有章^{1,2}, 岡本 陽佑¹, 源馬 龍太^{1,2}

Tokai Univ.¹, Micro Nano Center.², ○Tomoaki Yoshida^{1,2}, Yosuke Okamoto¹, Ryota Gemma^{1,2}

E-mail: 3ctad012@cc.u-tokai.ac.jp

1. Introduction

本研究では、含浸法を用いて調整した触媒金属/炭酸化物 複合試料を水素雰囲気下で加熱後、触媒金属/炭酸化物 となった試料を CO₂ 雰囲気中で加熱を行うことで触媒金属/炭酸化物へと戻し、再度水素雰囲気下での加熱を行い、得られた生成ガスについて経過時間ごとにガスクロマトグラフを用いた分析を行うことにより、触媒金属/炭酸化物 複合粉末を用いた CH₄ 生成のサイクル性についての調査を行うことを目的とした。

2. Experimental

蒸留水に La(NO₃)₃ · 6H₂O(富士フィルム 和光純薬 99.0 +%) 0.321 g, Ni(NO₃)₂ · 6H₂O (Sigma-Aldrich 99.999%) 0.336 g または Ni(NO₃)₂ · 6H₂O 0.495 g を溶解させ、CaCO₃(林純薬 99.5 +%) 0.9 g を入れたのち、ホットスターラーを用いて攪拌させながら蒸発乾固させた。得られた粉末を大気雰囲気下 500 °C で 2 時間加熱し試料とした。石英反応管に入れ 500°C まで加熱したのち、水素を流しながら 2 時間、経過時間ごとに生成ガスについてガスクロマトグラフ(GC: GL サイエンス, GC3210)を用いてガス組成分析を行った。実験後に試料を大気雰囲気下で加熱し、試料を炭酸化物へと変化させ、再度同様の実験を行った。

同様の試料について Ar + H₂ 雰囲気中熱重量測定 (TG) を行い重量変化を調査した。

3. Results and discussion

GC の結果(Fig.1)より水素雰囲気加熱を行うことにより、炭酸塩を炭素源とした CH₄ の生成が確認され、CH₄ の生成は La 添加によって促進されることが示唆された。Ar-H₂ flow TG の結果より(Fig.2)、水素存在下における重量変化挙動は Ar 雰囲気下における TG と異なり 3 段階目の重量変化が確認された。また、CH₄ 生成を行った後の試料を CO₂ 雰囲気下で加熱を行ったところ CO₂ の吸収による重量変化が確認された(Fig.3)。その他の結果については当日報告を行う。

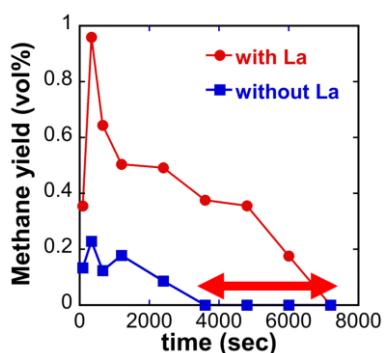


Fig.1 Methane yield over time

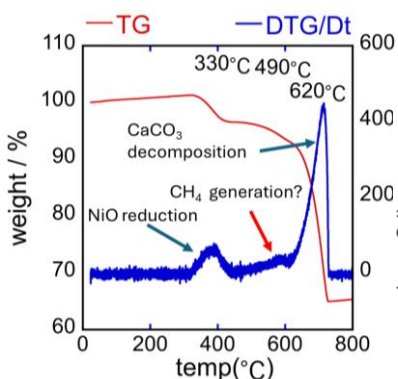


Fig.2 result of Ar-H₂ flow TG

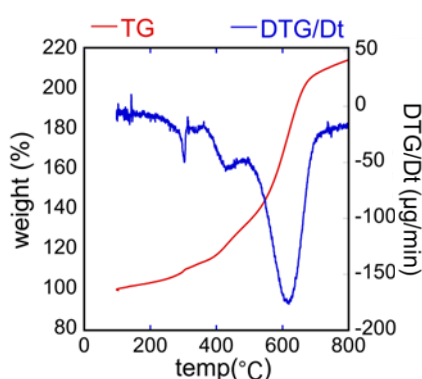


Fig.3 result of CO₂ flow TG

BaTiO₃のボールミリングによるCO₂のメタン化

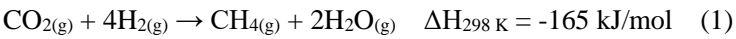
Methanation of CO₂ by ball-milling of BaTiO₃

東海大院工¹, 筑波大院理工², 産総研³ ◯(M2)布瀬 小枝¹, (D)澤原 馨登^{2,3}, 源馬 龍太¹

Tokai Univ.¹, Tsukuba Univ.², AIST³, ◯Sae Fuse¹, Keito Sawahara^{2,3}, Ryota Gemma¹

E-mail: 3cajm048@mail.u-tokai.ac.jp

大気中へのCO₂放出量の削減が求められている近年、CO₂をメタン(CH₄)などに変換して回収・利用する方法が提案されている。このプロセスは(1)式に示すサバティエ反応として知られている。具体的には、再生可能エネルギーを利用して作られた水素と、人為起源CO₂からCH₄を合成するというものである。しかし、この反応はNi等の触媒存在下において高温(300~400°C)が求められる。そのため、より高効率にメタン生成可能な触媒が望まれており、省エネルギーの観点や熱源の存在しない場所における応用を考えると、反応温度の低温化や他のプロセスへの転換が望まれる。



BaTiO₃は圧電体であり、物理的な圧力をかけると分極が起こる。分極によって表面に電荷の偏りが生じた場合、化学反応が起こりやすい状態になると考えられる。そこで、本研究では、圧電効果を利用した低温での圧電体表面におけるCO₂の還元ならびにメタン化の可能性を検討した。BaTiO₃に圧力を与える方法として、ボールミリング(BM)法を用いた。BMでは、ボールとの衝突により粉体に圧力が加えられるため、圧電効果が生じると考えられる。

SUS304製の容器にSUS304製のボールおよびBaTiO₃粉末を入れ、ガス置換可能な蓋を用いて密閉し、ロータリーポンプにて真空引きを行った後、CO₂およびH₂をシリンジを用いて注入した。これを遊星ボールミル(Fritsch, pulverisette 5)を用いて、回転速度300 rpmでBMを行った。BMの前後には、容器内の気体をシリンジにより採取しガスクロマトグラフィー(GC: GL Sciences, GC 3210)により気体の組成分析を行った。また、比較のため、CH₄生成触媒として不活性であるMnO₂粉末を用いて同様の手順で実験を行った。

各試料を用いた場合の各時間BM後の容器内の気体を採取しGCにより組成分析した結果をFigure 1に、CH₄生成速度をTable 1に示した。BaTiO₃のBMによって、CH₄が生成されたことが確認できた。CH₄生成速度は、BM時間の増加に伴いわずかに増加する傾向が見られた。また、MnO₂のBMによって、CH₄の生成は確認されなかった。よって、BaTiO₃が、圧電効果によってCH₄生成触媒として作用した可能性が示唆された。

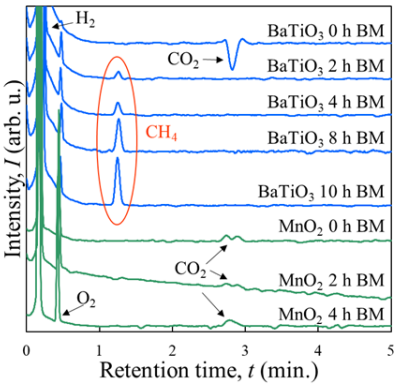


Figure 1. Gas Composition Analysis

Table 1. CH₄ Production Rate

	BM time (h)	CH ₄ production rate (μmol g ⁻¹ h ⁻¹)
BaTiO ₃	2	3.2
	4	3.1
	8	3.9
	10	4.5
MnO ₂	2	no detection
	4	no detection

Mg 水酸化物のボールミリングによる水素生成と分解挙動

Formation of H₂ by ball-milling of Mg hydroxide

東海大学大学院工学研究科¹, 東海大学マイクロ・ナノ研究センター² [○](M1)遠田和大¹, 源馬龍太^{1,2}

Graduate School of Engineering, Tokai Univ.¹, Micro/Nano Technology Center, Tokai Univ.²,

[○](M1)Kazuhiro Tohda¹, Ryota Gemma^{1,2}

E-mail: 3cajm038@mail.u-tokai.ac.jp

1. 緒言

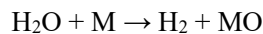
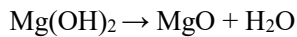
近年、既存のエネルギーの代替として、水素 (H₂) をエネルギーキャリアとして活用する方法が研究されている。しかし、H₂ は単体で地球上にはほぼ存在しないため、化合物からの分解過程を経て生成する必要がある。先行研究において、ボールミルを用いたメカノケミカル法による水からの H₂ 生成が可能であることが確認されている [1]。また、CO₂ のメタン化に関する研究において、水酸化物中の H がメタン生成に寄与しており、これは、水酸化物からの H₂ 生成が可能であることも示されている[2]。そこで、本研究では、メカノケミカル法による水酸化物からの H₂ 生成の可能性について検討することを目的とする。

2. 実験方法

本研究では Mg(OH)₂ (高純度化学研究所：純度 99.99%) を使用した。SUS304 製および ZrO₂ 製の容器内に重量比=40:1 になるようにボールと試料 0.25 g を入れ、ロータリーポンプにて 10 Pa まで真空排気を行ったものを用意した。その後、振動ボールミル (スーパーミスニ、NEV-MA-8 型) を用いて 24 h のボールミリング (BM) を行い、ガスクロマトグラフィー (GC : GL サイエンス、GC-3210) で容器内のガス分析を行った。また、BM 前後の試料について、熱重量分析装置 (TG : Seiko instruments, TG/DTA6200) により熱安定性を調査し、X 線回折装置 (XRD : Rigaku, MiniFlex600, Target: Cu Kα) にて相の同定を行った。

3. 実験結果

SUS304 製の GC 測定結果から、Mg 水酸化物から H₂ が生成されたことが確認された。さらに、XRD の結果から Mg(OH)₂ のピークが減少し、MgO のピークが見受けられた。これらの結果から、以下の反応が推測される。



メカノケミカル法による機械的エネルギーと BM によるボール同士の衝突などによる局所的な温度上昇に伴う脱水反応及び金属摩耗粉 (M) の酸化によって H₂ が生成されたと推測される。ZrO₂ 容器を用いた場合の結果は当日報告する。

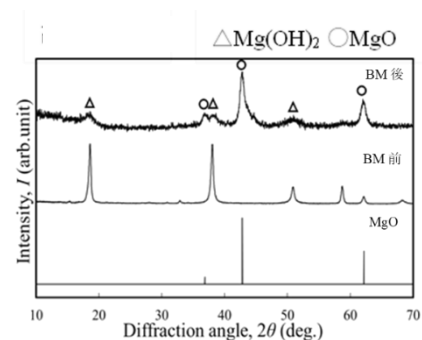


図 BM 後試料の XRD 測定結果

4. 参考文献

- [1] 芝野 寛了、東海大学大学院 工学研究科応用理化学専攻 2021 年度修士論文
- [2] 澤原 馨登、東海大学大学院 工学研究科応用理化学専攻 2021 年度修士論文

Al 水酸化物のボールミリングによる水素生成の検討

Hydrogen evolution by ball-milling of $\text{Al}(\text{OH})_3$ (M2) 矢倉 享佑¹, 源馬 龍太^{1,2}Graduate School of Engineering, Tokai University¹, Micro/Nano Technology Center, Tokai University.²,

E-mail: 3CAJM060@mail.u-tokai.ac.jp

近年、大気中の CO_2 濃度が上昇し、地球温暖化の一因となっている。そこで、水素をエネルギーキャリアとして利用することが注目されている。しかし、水素は単体では地球上にほとんど存在しないため、人工的に製造する必要がある。水素を発生させるには、化石燃料を利用する方法と、水を電気分解する方法がある。化石燃料から水素を発生させる方法には、石油製品の製造工程から取り出す方法や、化石燃料を水蒸気改質する方法があるが、これらの方法では大量の CO_2 が発生する[1]。一方、これまでの研究で、水をボールミルすることで水素製造が可能であることが確認されている。ボールミルによって生成した SUS304 由来の摩耗粉と水が反応し、摩耗粉の酸化によって水素が発生すると考えられている[2,3]。 CO_2 メタン化に関する研究では、水と反応して水酸化した酸化カルシウムを CO_2 雰囲気下で 300°C に加熱するとメタンが生成することが報告されている。これは、水酸化物中の H がメタン生成に寄与していることを示唆している[4]。この場合、水酸化物は脱水反応を起こすと考えられる。

そこで、本研究は、代表的な水酸化物の一つである水酸化アルミニウム $\text{Al}(\text{OH})_3$ のボールミルによる H_2 生成の可能性を調べることを目的とした。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ として純度の異なる 2 種類の試料（富士フィルム和光純薬 95%、高純度化学研究所 99.99%）を用いた。次に、SUS304 製容器に SUS304 のボール 10 個と試料 0.25 g を重量比 40 : 1 で投入し、遊星ボールミル（Fritsch 社製、Pulverisette 5）を用いて回転速度 300 rpm にて 4 時間乾式ボールミリングを行った。ミリング後、容器内のガス分析をガスクロマトグラフィー（GC: GL Science, GC-3210）により行った。また、粉末試料の評価を X 線回折（XRD）、蛍光 X 線分析（XRF）、熱重量分析（TG）により行った。

GC によりボールミリング後の容器内のガス分析を行った結果、 H_2 が生成されたことが確認された(Figure 1)。水素生成量は、純度 99.99%試料の場合は 41.0 mL、純度 95%の場合は 42.3 mL となり、低純度の場合にやや多く水素が生成されたことが分かった。また、XRD による相の同定の結果、ミリング後に酸化アルミニウム ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) のピークが現れた。これは、ミリングにより水酸化物が脱水され、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ から Al_2O_3 が生成したことを示している。ミリング後粉末の TG の結果から、ほぼ完全な脱水が示唆された。この水が金属摩耗粉と反応し、酸化物または水酸化物を形成した際に、 H_2 が生成したと考えられる。

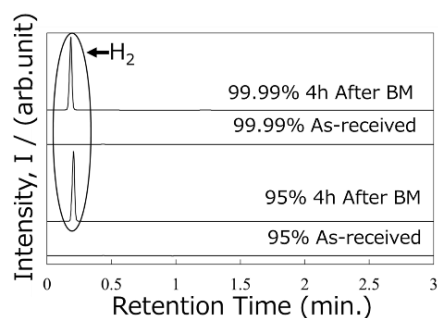


Figure 1 Gas chromatography measurement results

参考文献

- [1] 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 水素エネルギー白書, (2015) 3-10.
- [2] Y. Sawama, M. Niikawa, H. Sajiki, J. Synth. Org. Chem., Jpn. Vol. 77 No. 11 (2019) 1070-1077.
- [3] 布施 小枝, 東海大学工学部材料科学科学士論文 (2022).
- [4] 澤原 馨登, 東海大学大学院工学研究科修士論文 (2021).

ボールミルから作成した Ca-Mg 系水素吸蔵材料の反応性-添加物の影響-

Reactivity of Ca-Mg based Hydrogen Storage Materials Prepared by Ball-milling

東海大学大学院工学研究科¹, 東海大学マイクロ・ナノ研究センター² ○(M2) 板橋達也¹, 源馬龍太^{1,2}

Graduate School of Engineering, Tokai Univ.¹, Micro/Nano Technology Center, Tokai Univ.²,

○(M1) Tatsuya Itabashi¹, Ryota Gemma²

E-mail: 3cajm005@mail.u-tokai.ac.jp

1. 緒言

近年、石炭や石油などの化石燃料の大量消費による二酸化炭素の増加により、地球温暖化が進んでいる。実質的な二酸化炭素排出ゼロを目指し、再生可能エネルギー活用の観点から、水素利用社会の構築や代替エネルギーの開発に向けた研究が世界的に進められている[1]。これまで開発されてきた遷移金属系水素貯蔵材料は、材料自体が重い、単位重量あたりの水素貯蔵密度が低いという欠点がある。そのため、アルカリ金属やアルカリ土類金属などの軽元素をベースとした軽量な水素貯蔵材料の研究開発が望まれている。CaMg₂ は、水素化時に CaH₂ と Mg に相分離するが[2]、Mg に Ni を添加することで水素化・脱水素化率が向上することが知られている[3]。このことは、Ni が水素吸蔵特性に影響を与え、Ni 添加により CaH₂ の可逆的水素反応性が向上する可能性を示唆している。本研究では、Mg、MgH₂、Ca、CaH₂ を出発原料とし、ボールミル (BM) を用いたメカノケミカル法による Ca-Mg 系水素貯蔵材料の作製と、添加剤が水素吸蔵特性に及ぼす影響について検討した。

Mg、MgH₂、Ca、CaH₂、Ni 粉末をそれぞれ出発原料とし、Ca:Mg のモル比が 1:2 になるように 1g に秤量した後、SUS304 製のポットとボールを用いて 2~20 時間、容器温度 80°C にてボールミリングを行った。ミリング後、Ni 粉末 0.01g とともに再度 BM で混合した。得られた試料について X 線回折法 (XRD) による相の同定を行い、SEM/EDX により表面観察と組成の確認を行った。水素反応性については、高圧ジーベルツ装置により測定した。

2. 実験方法及び結果

Ca と Mg を 8 時間以上ボールミリングした場合、試料中に CaMg₂ 相が部分的に形成されていることが XRD により確認された (Fig. 1)。しかし、残存した Mg 由来のピークも強く現れた。水素化および脱水素化後の試料では、MgH₂ および CaH₂ が確認された。これらは、残存 Mg および Ca の水素化によるものであることを示唆している。秤量した組成で予想される水素吸収量は約 4.4 wt% である。しかし、観測された水素濃度は残留 Mg 量に強く依存した。これは、CaMg₂ だけでなく Mg も水素化した結果と考えられる。

参考文献

- [1] 若尾慎二郎、水素吸蔵合金[材料・特性・応用]、株式会社パワー社、1993 年発行。
- [2] N. Terashita and E. Akiba, Materials Transactions, 45 (8) (2004) pp. 2594 to 2597
- [3] B. Bogdanović, T.H. Hartwig, and B. Spliethoff, International Journal of Hydrogen Energy, 18 (7) (1993) pp. 575 to 589

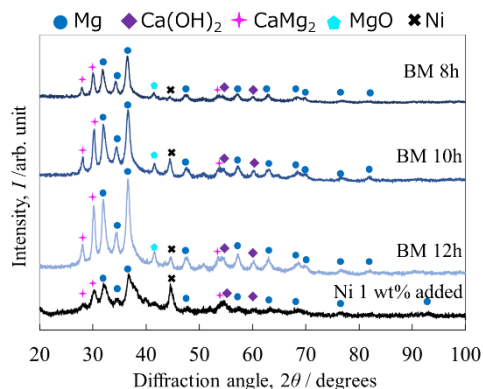


Figure 1 XRD results of prepared samples

フェムト秒レーザーを用いた超純水からの水素生成量の F 値依存性

F-number Dependence of Hydrogen Production from Ultrapure Water

Using Femtosecond Laser

静大工¹, 芝浦工大工² ○伊藤 央樹¹, 櫻井 大斗¹, 桑原 彬², 水嶋 祐基¹, 間瀬 暢之¹,
松井 信¹

Shizuoka Univ.¹, Shibaura Inst. of Tech.², °Oki Ito¹, Akira Kuwahara², Yuki Mizushima¹,
Makoto Matsui¹, Hiroto Sakurai¹, Nobuyuki Mase¹

E-mail: ito.oki.19@shizuoka.ac.jp

【背景・目的】近年、エネルギー安全保障、脱炭素化の観点から水素エネルギーが注目を浴びている。現在、主な水素製造方法として、炭化水素を用いた水蒸気改質反応法が広く利用されているものの、水素の製造過程において二酸化炭素が発生するといった問題がある。そこで、再生可能エネルギーを利用した電気分解による水素製造が注目されている。しかし、電気分解には淡水を用いる必要があり、淡水化処理によるコストが問題となる。また、無尽蔵に存在する海水を資源に用いる場合、腐食性をもつ塩素ガスが発生してしまい、設備の腐食が問題となる。そこで、フェムト秒レーザーを用いた海水からの直接水素製造[1]が研究されている。この手法は、水分子の多光子吸収による直接電離を利用しており、海水中であっても塩素が排出されないことが確認されている。しかし、実用化には、さらなる水素製造能力のスケールアップが期待される。

本研究では、フェムト秒レーザーを用いた超純水からの水素製造における F 値の依存性について調査を行った。F 値を増加させることで、レーザーフィラメント現象を利用し、長尺の反応場を形成することで、水素製造量のスケールアップが期待される。

【実験方法】光路長 100 mm のセプタム付き円筒セル (C25-UV-100、ジューエルサイエンス) 内に超純水を封入し、フェムト秒レーザー (800 nm、110 fs、<0.5 mJ) を両凸レンズにより集光させた。一定時間レーザーを照射した後に、セル内の気相領域をガスタイトシリンジを用いて 9 μ L サンプルングし、ガスクロマトグラフ (GC-2010Plus、島津製作所) を用いて、水素量を定量した。

【結果】各焦点距離での、水素生成量 (15 分間照射) とフィラメント長を図 1 に示す。焦点距離を長くするとフィラメント長、すなわち長尺の反応場の長さが変わらなかったのに対して、水素の生成量が減少することが確認された。今後これらの要因や長尺の反応場の形成条件について調査していく。

【参考文献】

[1] A.Kuwahara, *et al.*, Rsc Adv., 2022, 15, 9304

[2] A.Dubietis, *et al.*, Opt.Lett.,2003, 28, 1269

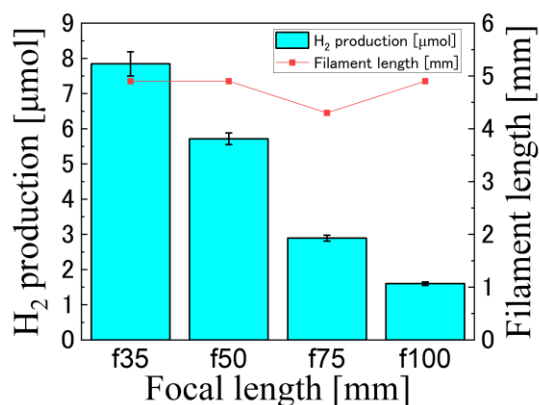


図 1 各焦点距離での水素生成量

人工被膜を形成したリチウムイオン電池用 Si 負極の高温下充放電特性



Charge and discharge properties under high temperatures of Si negative electrodes with artificial surface layer for lithium-ion batteries

近畿大学大学院産業理工学研究科 ^{○(M1C)}園田 真由, 春田 正和Kindai Univ., ^{°(M1C)}Mayu Sonoda, Masakazu Haruta

E-mail: 2433950025r@ed.fuk.kindai.ac.jp

1 緒言

近年、環境意識の高まりにより電気自動車(EV)の普及が進んでいる。EV 開発の鍵を握っているのがバッテリーである。特に航続距離の延伸に対するニーズが大きく、バッテリーの大容量化が必要である。さらに、高温環境下でも劣化しない長寿命なバッテリーが求められている。

次世代リチウムイオン電池用負極として従来の黒鉛負極に対して 10 倍の蓄電容量(約 3,600 mAh/g)を有するシリコン系材料に着目した。Si 負極の実用化には、電池の劣化要因である電極表面における電解液の還元分解を抑制する必要がある。電解液が分解するとその分解生成物が電極表面に堆積し、過剰に堆積した分解生成物由来の被膜がリチウムイオンの伝導を阻害してしまう。また、電解液が分解する際に電池内部のリチウムイオンを消費するため容量低下を招く。特に高温下では電解液の還元分解が進行し、電池の寿命劣化が加速する。従来のリチウムイオン電池では微量の添加剤を電解液に加えることで添加剤由来の被膜を形成し、電解液の分解を抑制していた。しかし、分解生成物から形成される被膜の組成は複雑で、特性改善に有効な成分については十分に理解されていなかった。

本研究では、薄膜技術により組成と構造を制御した人工被膜を形成し、電解液分解抑制に有効な被膜組成を明らかにすることを目指した。Si 薄膜をモデル電極として、電解液分解抑制への有効性が報告^[1-3]されているフッ化リチウム(LiF)被膜を形成した。LiF 被膜が Si 負極特性に与える影響を調べ、高温下(60°C)での長寿命化を目指した。

2. 実験

Si 薄膜(100 nm)を銅箔上に RF マグネトロンスパッタにより成膜した。その後、Si 薄膜表面に LiF 被膜層を同チャンバー内にて連続製膜した。その後、アルゴン雰囲気グローブボックス内で 13 mmφに打ち抜いた Si 薄膜電極を作用極とし、Li 金属を対極に用いてコイン型二極セルを作製した。電解液には 1 M のリチウム塩(LiPF₆)を溶解させたエチレンカーボネート/ジエチルカーボネート混合溶液を用いた。作製したセルは、30, 60°C の恒温槽内でそれぞれ充放電試験を行った。なお、Si 薄膜および LiF 被膜の作製からセル組みのすべての工程は大気非暴露で行った。

3. 結果および考察

Si 負極の寿命特性を Fig. 1 に示す。30°C において、Si 負極の放電容量はサイクル経過により減少し、50 サイクル後の容量維持率(5 サイクル目基準)は 19%であった。一方、LiF を被覆すると容量維持率が 84%に増加し、大幅に寿命特性が向上した。また、平均の充放電効率が 96.3%から 98.3%に増加した。60°C では Si 負極の放電容量は 30°C の場合より急激に劣化し、容量維持率は 10%であった。平均充放電効率は 95.2%であり、30°C よりも電解液分解が進行していることが示唆された。LiF を被覆するところで容量維持率は 65%に、充放電効率は 96.6%に増加した。このことから、60°C の高温下でも電解液分解抑制に LiF 被覆が有効であることが分かった。当日は SEM 観察、XPS 分析結果を合わせて LiF の効果を議論する予定である。

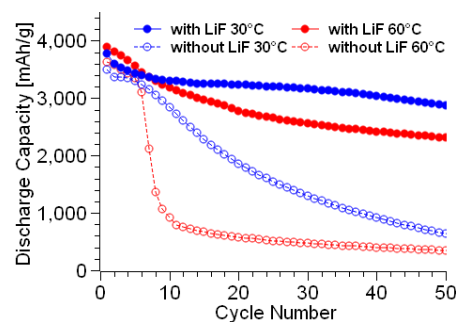


Fig.1 Cycle performance of Si negative electrodes with and without LiF layer at 30°C and 60°C.

謝辞 本研究は JST 革新的 GX 技術創出事業(GteX, JPMJGX23S3)、および科学研究補助金(No.22H01967)の助成を受けて実施された。

参考文献 [1] M. Haruta et al., *Electrochimica Acta* 267 (2018) 94.; [2] M. Haruta et al., *J. Electrochem. Soc.* 165 (2018) A1874.; [3] M. Haruta et al., *Nanoscale* 19 (2018) 17257.

$\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ 正極活物質を用いた透明全固体電池の作製

Preparation of transparent all-solid-state batteries using $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ positive electrode

近大産業理工 谷口 翔紀, 松田 圭吾, [○]春田 正和

Kindai Univ. Shoki Taniguchi, Keigo Matsuda, [○]Masakazu Haruta

E-mail: haruta@fuk.kindai.ac.jp

【はじめに】すべての部材が不燃性の固体で構成された全固体電池はきわめて安全性が高く、長寿命であることから、チップ型の小型電池から車載用などの大型電池までの幅広い分野での応用が期待されている。また、可視光透過性などの付加的な機能を与えることで、従来の電池とは異なった使い方の新しいデバイスとしての応用展開が期待される。本研究では透明な全固体電池の作製を目指して、透明正極活物質として $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ (LFPO、理論容量：128 mAh/g) ^[1,2] を合成した。スパッタ法により LFPO 薄膜電極を作製し、固体電解質と組み合わせた全固体電池における充放電特性の評価を行った。なお、集電体には透明導電膜である Ta ドープ酸化スズ(Ta-doped tin oxide, TTO)を用いた。

【実験】固相法により LFPO 粉末を合成した。出発原料として Li_2CO_3 、 Fe_2O_3 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ をモル比 3:2:6 で混合し、大気下で焼成した。合成した LFPO 粉末をターゲットとして用いて、RF スパッタ法により LFPO 薄膜を作製した。サファイア(Al_2O_3)単結晶上に集電体として TTO 薄膜をスパッタ成膜し、その上に正極として LFPO 薄膜をスパッタ成膜した。真空排気後、アルゴンと酸素の混合ガスを導入し、圧力 1.0 Pa で LFPO 薄膜を成膜した。その後、LFPO 薄膜を 650~750°C でアニール処理を行った。続いて、固体電解質として Li_3PO_4 を RF スパッタにより形成した。そして、対極として Li 金属電極を真空蒸着により形成し、ハーフセルを構成した。作製した全固体電池の模式図を Fig. 1a に示す。

【結果および考察】従来は集電体として Au を用いていたが、本研究では透明全固体電池形成のため TTO を用いた。 Al_2O_3 基板上に作製した TTO/LFPO 薄膜の XRD パターンを Fig. 1b に示す。TTO および LFPO のそれぞれに帰属されるピークが確認され、TTO 集電膜上に LFPO 正極が形成されていることが確認された。なお、LFPO 薄膜は無色透明であった。対極に Li 金属を用いて作製した LFPO 全固体電池の充放電特性を Fig. 1c に示す。3 V 付近に反応電位を持つ充放電動作を示し、TTO 集電体上でも LFPO 薄膜が安定に電池動作することが確認された。当日は、集電体として Au を用いた場合、また LFPO のアニール条件による充放電特性の比較を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は科学研究補助金 (No. 22H01967) の助成を受けて実施された。

参考文献 [1] M. Morcrette *et al.*, Solid State Ionics, **4** (2002) 239.; [2] H. Nagai *et al.*, Funct. Mater. Lett., **6** (2013) 1341001.

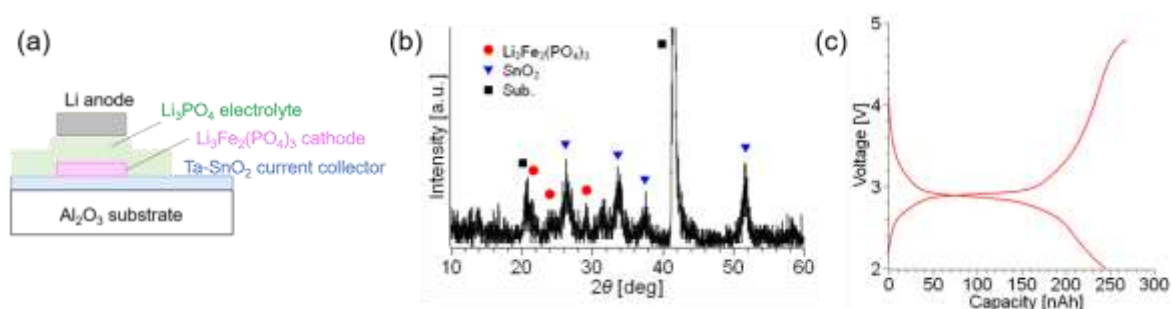


Fig. 1 (a) Schematic illustration, (b) XRD pattern, and (c) charge and discharge characteristics of all-solid-state battery using $\text{Li}_3\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$ positive electrode.

高酸化状態の鉄を含有したバナジン酸塩ガラスにおける殺菌能評価

Bactericidal activity evaluation of vanadate glass containing iron of high oxidation state

近畿大¹, 環境材料研究所²



○^(M1C) 峯越 大輝¹, 山内 里沙¹, ^(M1C) 林田 航輝¹, 西田 哲明², 岡 伸人¹

Kindai Univ.¹, Environmental Materials Inst.²

°Hiroki Minegoshi¹, Risa Yamauchi¹, Koki Hayashida¹, Tetsuaki Nishida², Nobuto Oka¹

E-mail: nobuto.oka@fuk.kindai.ac.jp

1. 緒言

遷移金属のひとつである Fe (鉄) は様々な酸化数を取り得る。Sharma らは不安定な高酸化状態の鉄が安定な酸化数へ変化する化学反応を活用して、殺菌作用を有する材料を報告している [1]。そこで本研究では酸化数が 3 より大きな鉄を含む高い殺菌効果を有する酸化物ガラス (バナジン酸塩ガラス) を開発することを目的に実験を行った。

V₂O₅ を主成分とするバナジン酸塩ガラス (20BaO・10Fe₂O₃・70V₂O₅) およびその関連物質は、アニーリング (再加熱) によりガラス骨格の歪みが緩和し、電気伝導性を 10⁻⁷~10⁻¹ Scm⁻¹ の範囲で任意に制御することが可能となる。また様々な添加物を加えることで、ガラスの電気物性や耐熱性を任意に変えることも可能である。

2. 実験

原料 KNO₃、Fe₂O₃、V₂O₅ をモル比 50 : 10 : 65 で混合し、さらに原料総質量の 1/8 の割合で酸化剤として (NH₄)₂S₂O₈ を添加した。この混合物を熔融急冷することにより 25K₂O・10Fe₂O₃・65V₂O₅ ガラスを作製した。次に汚染水 (土砂を水に分散させ、回収したろ液) 50 mL に、合成したガラスを 0.01g 加えて、暗条件もしくは明条件 (可視光照射 (1.50 klux)) で 1~15 分間静置した。比較のため、ガラスなしで暗条件で同時間静置した試料も用意した。その後、汚染水中の生物由来の汚れを ATP 衛生検査 (A3 法) により測定し、その変化率から殺菌効果を評価した。

3. 結果および考察

メスbauer分光により高酸化状態の鉄の存在を確認した。ATP 衛生検査 (A3 法) により評価した殺菌試験の結果、80 %を超える殺菌能を有することが分かった。詳細は発表当日に報告する。

- 1). L. Machala, V. Prochazka, M. Miglierini, V. K. Sharma, Marušák, H-C. Wille, R. Zbořil, *Phys. Chem. Phys.* **17** (2015) 21787-

バナジン酸塩ガラスを正極活物質としたリチウムイオン電池の高容量化

High-capacity lithium-ion battery using vanadate glass as cathode active material



近畿大学¹, 環境材料研究所²

(M1C)林田 航輝¹, (M1C)峯越 大輝¹, 西田 哲明², 岡 伸人¹

Kindai Univ.¹, Environmental Materials Inst.²

(M1C) Koki Hayashida¹, (M1C) Hiroki Minegoshi¹, Tetsuaki Nishida², Nobuto Oka¹

E-mail: nobuto.oka@fuk.kindai.ac.jp

1. 目的

現在、リチウムイオン電池の正極活物質には LiFePO_4 (理論容量: 170 mAh/g) などの結晶材料が用いられている。ガラス (アモルファス材料) にはマトリックス中に原子サイズの空隙が無数に存在するため、結晶材料よりも多くの Li^+ を貯蔵できると期待され、例えば $15\text{Li}_2\text{O} \cdot 10\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 70\text{V}_2\text{O}_5$ ガラスを用いた実験では優れた放電容量が報告されている [1]。そこで本研究では更なる高容量化に向けて、 Li_2O 含有比の異なる $x\text{Li}_2\text{O} \cdot 10\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot (85-x)\text{V}_2\text{O}_5$ ガラス ($x = 15, 20$) を作製し、充放電プロファイルへの影響について探索した。

2. 実験

熔融急冷法により作製した $x\text{Li}_2\text{O} \cdot 10\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot (85-x)\text{V}_2\text{O}_5$ ガラス正極活物質は、X線回折 (XRD) によりアモルファスであることを確認した。正極として、このガラス正極活物質、導電助剤 (アセチレンブラック)、結着剤 (ポリテトラフルオロエチレン) を 70 : 25 : 5 (mass%) の割合で混合し、直径 10 mm のペレット状にして使用した。負極として Li 金属を用い、電解質には 1.0 M LiPF_6 の EC + DMC 溶液 (1 : 1) を用いた。充放電試験の条件は、電圧範囲 1.5~3.5 V、電流密度 50 または 150 mA/g とした。

3. 結果および考察

Fig. 1 に示すように、電圧範囲 1.5~3.5 V の充放電において高い放電容量 250~300 mAh/g が得られた。電流密度 150 mA/g で 100 サイクルを経てもなお、230 mAh/g 程度の高い容量が確認された。その他の充放電プロファイルや、X線回折の結果についても当日、詳細に報告する。

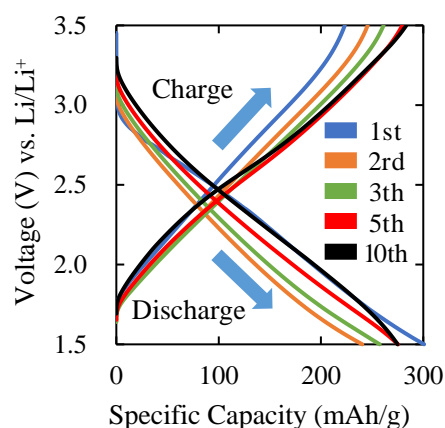


Fig. 1. Charge-discharge profiles of lithium-ion battery using $15\text{Li}_2\text{O} \cdot 10\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 70\text{V}_2\text{O}_5$ glass as a cathode active material (current density: 150 mA/g).

[1] S. Matsusako, S. Masuda, S. Matsuo, R. Imamura, T. Sakuragi, H. Inada, H. Hayakawa, T. Nishida, N. Oka, *Hyperfine Interact.*, **244** (2023) article id 2.

酸素含有ガス流通下で動作可能な Mn 錯体による CO₂ 還元反応 -資源量豊富な元素で構成される高効率人工光合成システムの実現-

CO₂ reduction by oxygen-tolerant Mn complex catalyst

-Artificial photosynthesis system with earth abundant elements-

豊田中研 °西 哲平, 坂本 直柔, 関澤 佳太, 森川 健志, 佐藤 俊介

TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC. °Teppei Nishi, Naonari Sakamoto, Keita Sekizawa,

Takeshi Morikawa, Shunsuke Sato

E-mail: teppei-nishi@mosk.tytlabs.co.jp

【はじめに】カーボンニュートラル社会を目指し、水と太陽光エネルギーを用いて CO₂ を有用な物質に変換する人工光合成の研究が盛んに行われている。しかし、これらの研究では、貴金属触媒や高純度の CO₂ を用いており、実用化にはシステムコスト低減が不可欠である。CO₂ 源として工場排ガスなどを用いる方法が検討されているが、排ガス中の O₂ などの還元反応によって、CO₂ 還元触媒活性が低下するという問題がある。また、高い太陽光変換効率を達成するために、Si 以外の太陽電池が用いられている。本研究では、Mn 錯体 CO₂ 還元触媒、Fe-Ni 系水の酸化触媒、Si 太陽電池と安価な 1 室型のセルを用いて、高い太陽光変換効率(>10%)を達成した結果について報告する。さらに、この時に必要な電流密度(4 mA/cm²)において、15%O₂ 含有ガス流通下で、100%CO₂ ガス流通下と同じく、選択的に CO₂ を還元して CO を生成することを示す。

【実験】カーボンペーパーに多層カーボンナノチューブをコーティングした後、Mn 錯体を塗布してカソード電極を作製した。洗浄した Ni foam 基板を Fe, Ni 塩を溶解した水溶液に dip した後、大気中で焼成し、1 KOH 水溶液中でブレ電解してアノード電極を作製した。疑似太陽光を Si 太陽電池に照射し、CO₂ を流通させた 1 室型のセル中で反応させた。O₂ 含有ガス流通下の実験では、Pt 対極と Ag/AgCl 参照極を用いた 3 電極方式で定電流電解を行い、O₂ の影響を調べた。

【結果】資源量豊富な元素で構成されるシステムと、1 室型のセルを用いて、太陽光変換効率 10.4% で CO を生成することに成功した。この時の電流密度(4 mA/cm²)における O₂ の影響を調べた。O₂ 量を 5, 10, 15%と変化させた時の反応生成物のファラデー効率(FE)を調べたが、Mn 錯体電極では変化がなかった。一方で、比較として用いた Ag 電極と Co 錯体電極では、O₂ 存在下では、CO の FE が低下した。この原因を Operando-Raman 分光分析によって調べた。Ag および Co 錯体触媒は、15%O₂ 存在下で、酸素由来と推察される複数のピークが確認されたが、Mn 錯体では確認されなかった。すなわち、Mn 錯体は O₂ が配位しにくいいため、O₂ 還元が起こりにくい。その結果、15%O₂ 存在下でも選択的に CO₂ が還元されたと推察される。この特徴があるため、セパレーターが必要なセル(H 型セルなど)が不要になる。その結果、溶液や分離膜に由来する電極間の抵抗が低減できたため、高い太陽光変換効率の実現できたと結論付けられる。

【謝辞】本研究の一部は、環境省委託事業「人工光合成技術を活用した二酸化炭素の資源化モデル事業」により実施された。

InAsSb ダイオードを用いた夜間光発電

Nighttime photovoltaic power generation with InAsSb diodes

福井高専 [○]松浦徹, 清水陸, 吉松歩輝

NIT (KOSEN) Fukui college, [○]Toru Matsuura, Riku Shimizu, Ayuki Yoshimatsu

E-mail: t-matsuura@fukui-nct.ac.jp

地球表面から受けた太陽光のエネルギーは様々な過程を経て熱に変わり、最終的に赤外線形で低温の宇宙に放射される。地球表面にある p-n 接合を宇宙へ向けると、地球輻射により熱平衡が崩れ、キャリアの不均衡が生じて電圧が発生する。これを負照射光起電力効果 (Negative illumination photovoltaic effect) と呼ぶ[1-3]。この原理を用いると、夜間にも光発電が可能になる。しかし、可視光や近赤外線の光子エネルギーに対応した通常の太陽電池では発電量が小さく、地球輻射 (300 K の熱放射) に対応した狭ギャップ半導体が必要である。

本研究では、既製品の InAsSb ダイオードの負照射光起電力効果を実測する。夜間の晴れた空を低温熱源とし、Fig.1(a)のように地球表面に置いたダイオードから遠赤外線 (ピーク波長約 10 μm) を宇宙に捨てられる状況を作り、ダイオードの開放電圧測定を行った。Fig. 1(b)に示すように、ダイオードに蓋をしていない場合としている場合で有意な電位差が生じることを確認した。比較のため、ダイオード自体の真の負照射光発電能力を測定した。これは、液体窒素で冷却した低温熱源に対して同様の実験を行うことで大気の影響を受けない発電電圧が得られる。両者を比較し、ダイオードの真の発電能力が大気等の影響をどう受けるのかについて議論する。

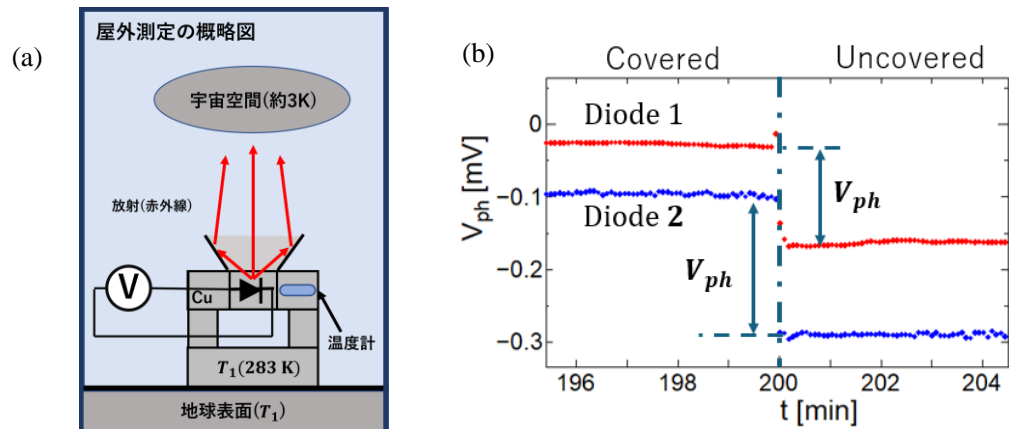


Fig. 1 (a) Schematics of experimental setup for measurement of negative illumination photovoltaic effect. (b) Photovoltage of InAsSb diode as a function of cold bath temperature T_2 .

References

- [1] P. Santhanam and S. Fan, *Phys. Rev. B* **93**, 161410 (2016).
- [2] M. Ono, et al., *Appl. Phys. Lett.* **114**, 161102 (2019).
- [3] M. P. Nielsen, et al., *ACS Photonics* **9**, 1535–1540 (2022).

銀合金層をコートしたルチル型 TiO₂ 基板上への鉄シリサイドの結晶成長 Crystal Growth of semiconducting iron-silicide from vapor phase on rutile-TiO₂ single crystal coated by Ag alloy layer

神奈川県立産技総研,
○秋山賢輔, 祖父江和治,

Kanagawa Inst. Ind. Sci. Tech.

○Kensuke Akiyama and Kazuharu Sobue E-mail: akiyama@kistec.jp

【緒言】 水分分解系の光触媒材料において、さらなる変換効率向上のために材料・システムが探索されている。このような背景の中 H₂ 発生光触媒と O₂ 発生光触媒を接合させた二段階励起型の水分分解系が提唱される¹⁾が、作製が困難とされており報告例は少ない。しかしながら半導体ヘテロ接合構造は、光電変換デバイスにおいて効率的な光吸収、光励起キャリアの分離を可能にして高効率の太陽電池を実現しており、光触媒材料においてもヘテロ接合構造による変換効率の向上が期待できる。

我々は β -FeSi₂ のもつ化学ポテンシャルにおいて、その伝導帯の対水素標準電極電位が約-0.7eV と水からの水素発生電位よりも卑な電位側に位置していることから、光触媒作用での水素発生への可能性に着目して TiO₂ と金(Au)層を介して接合した複合粒子合成を報告してきた²⁾。本研究は、接合層に導入する金属種を変化させることで、 β -FeSi₂ の伝導帯の対水素標準電極電位を制御することを目指してルチル型酸化チタン(TiO₂)基板上への結晶成長を検討した。

【実験条件】 TiO₂ (100)面上にスパッタ法にて厚さ 20nm の銀(Ag)、及び AgAu 合金(30at%Au-70at%Ag)層を室温でプレコートする前処理を行った。この TiO₂ 基板表面にスパッタ法にて Fe と Si の気相供給を行った。作製は 3×10^{-3} Torr の Ar 雰囲気中で 650-880℃の基板温度、1.3nm/min の堆積速度の条件で 90 min 間行った。作製膜の結晶構造評価には Cu K α 線を用いた X 線回折評価を行った。

【結果】 X 線回折法による θ -2 θ スキャンプロファイルから、Ag 層をプレコートした(100) TiO₂ 上では、TiO₂ と Ag に起因する回折ピークのみが観察された。この結果から Fe-Si 層は非晶質相で構成されることが示唆される。一方、30at%Au-70at%Ag 層をプレコートした(100) TiO₂ 上では、750-805℃の基板温度において、 β -FeSi₂ 相の 202/220 面及び 404/440 面からの回折ピークが観察され、 β -FeSi₂ 合成が確認された。我々は、これまでに Au 層をプレコートした Si や TiO₂ 上では、650-800℃にて β -FeSi₂ 相が合成されることが、気相から供給される Si と Au の間の共晶反応で形成された液相が β -FeSi₂ 相合成に寄与することを報告している^{2, 3)}。Si と Ag の間の共晶温度は 850℃であることを考えると、30at%Au-70at%Ag 合金の Si との共晶温度低下が β -FeSi₂ 相合成に寄与したと考える。

【参考文献】

- 1) H. Irie *et al.*, J. Phys. Chem. C, **118** (2014) 22450.
- 2) K. Akiyama, S. Nojima, Y.o Ito, M. Ushiyama, T. Okuda and H. Irie, ACS Omega **43**, (2022) 38744.
- 3) K. Akiyama, S. Kaneko, K. Yokomizo and M. Itakura, Appl. Surf. Sci., **256** (2009) 1244.

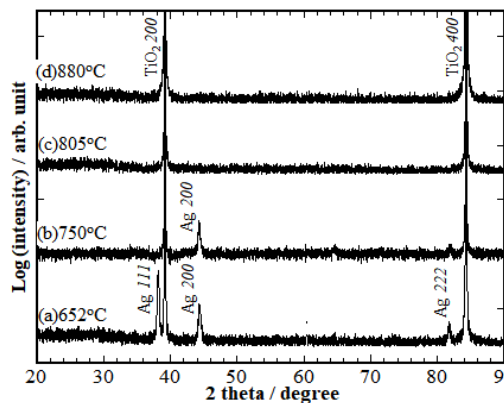


Fig. 1 X-ray diffraction θ -2 θ scan profiles of the Si-Fe deposits onto Ag/ (100)TiO₂ substrates at (a) 652, (b) 750, (c) 805 and (d) 880°C.

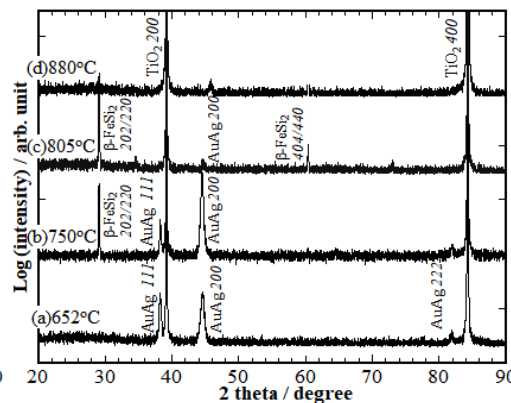


Fig. 2 X-ray diffraction θ -2 θ scan profiles of the Si-Fe deposits onto 30at%Au-70at%Ag/ (100)TiO₂ substrates at (a) 652, (b) 750, (c) 805 and (d) 880°C.

Duty 制御安定化 C 波紫外線 (UVC) LED 光源の評価

Evaluation of stability of ultraviolet (UV) LED light source using duty ratio control

東洋大理工¹, マツモト精密工業², 齊藤 水波¹, 吉田 知生¹, 吉田 知生¹, 小森 葉月¹,

小島 愛弥加¹, °勝亦 徹¹, 相沢 宏明¹, 松元 健²

Toyo Univ.¹, Matsumoto Precision Co.², Minami Saitou¹, Kazuki Yoshida¹, Tomoki Yoshida¹, Hazuki

Komori¹, Ayaka Kojima¹, °Toru Katsumata¹, Hiroaki Aizawa¹, Takeshi Matsumoto²

E-mail: katsumat@toyo.jp

はじめに

C 波紫外線 LED (UVC LED) を光源として使った蛍光測定では、光源の点灯に伴う LED の温度上昇によって LED の発光強度が変化するため、蛍光測定の安定性に問題があった。市販の UVC LED には正の温度係数を持つものと負の温度係数を持つものが存在するが、どちらの UVC LED も PWM を用いた Duty 比制御によって光強度が安定化できた。

実験 UVC LED ($\lambda=265, 275$ nm) を組み合わせて Duty 比が 0.01 % ~ 99% の間で調節できる PWM パルス発生器、定電流パルス LED 光源を組み合わせて図 1 の測定装置を試作した¹。LED 光源の発光強度の時間変化および K 熱電対による温度測定結果を Duty 比および LED の入力電流値 (ピーク電流値) を変えて評価した。

結果 図 2 に Duty 比 1-50% のパルス点灯による UVC LED (正の温度係数) の発光強度と温度変化を示した。Duty 比が小さい場合は UVC LED の発光強度が安定化した。Duty 比 10% から 50% のパルスで点灯した負の温度係数を持つ UVC LED の発光強度と温度との関係を図 3 に示した。発光強度と温度との関係を使うと Duty 比による LED の安定性の違いが明確になった。

参考文献

1. A. Hitomi, T. Katsumata, H. Aizawa, "Photoluminescence measurement of ruby excited by duty ratio-controlled pulse light-emitting diodes (LED) light source", Review of Scientific Instruments, **95** (2024) 054901-1-5.

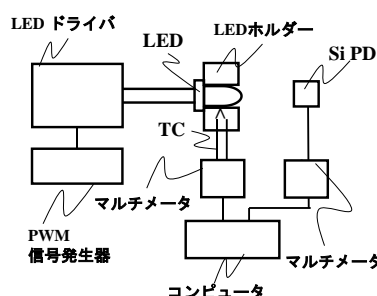


図 1 Duty 比制御安定化パルス LED 光源。

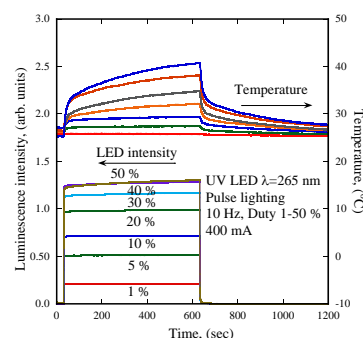


図 2 Duty 比 1-50% のパルス点灯による UVC LED の温度および、発光強度。

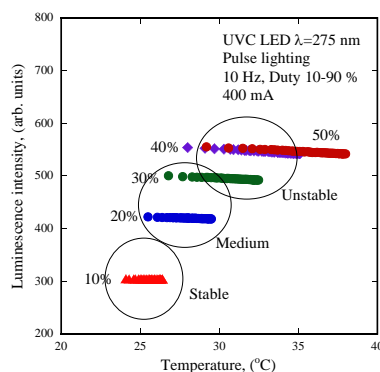


図 3 UVC LED 光源の発光強度と温度。

Duty 制御安定化紫外線 LED 光源の評価

Evaluation of stability of ultraviolet (UV) LED light source using duty ratio control

東洋大理工¹, マツモト精密工業², 小森 葉月¹, 吉田 知生¹, 吉田 知生¹, 小島 愛弥加¹, 齊藤 水波¹, 勝亦 徹¹, 相沢 宏明¹, 松元 健²

Toyo Univ.¹, Matsumoto Precision Co.², Hazuki Komori¹, Kazuki Yoshida¹, Tomoki Yoshida¹, Ayaka Kojima¹, Minami Saitou¹, Toru Katsumata¹, Hiroaki Aizawa¹, Takeshi Matsumoto²

E-mail: katsumat@toyo.jp

はじめに

LED 光源の点灯に伴う温度上昇によって、LED の発光強度が低下するため光吸収、蛍光、光散乱などの光学測定 of 安定性に悪影響がある¹。今回は、高精度で安定な蛍光測定用の励起光源を開発する目的で、PWM (Pulse Width Modulation) 調光の Duty 比を最適化し高い安定性を持つ紫外線 LED 光源の実現を試みた。

実験

PWM パルス発生器、パルス電源、UV LED ($\lambda=365$ 、375、385、405、415 nm) を組み合わせて図 1 の測定装置を試作した¹。LED 光源の発光強度および LED の近傍に設置した K 熱電対による温度測定結果の時間変化を評価した。

結果

図 2 に Duty 比 5% のパルス点灯による UV LED の発光強度と温度変化を示した。点灯時 (通電時) に LED の温度が上昇し、消灯時に冷却された。Duty 比が小さい (5% 程度) 場合は UV LED の発光強度が安定化した。Duty 比 50% のパルスで点灯した UV LED の発光強度は時間点灯時間とともに大きく変化した。

参考文献

1. A. Hitomi, T. Katsumata, H. Aizawa, "Photoluminescence measurement of ruby excited by duty ratio-controlled pulse light-emitting diodes (LED) light source", Review of Scientific Instruments, **95** (2024) 054901-1-5.

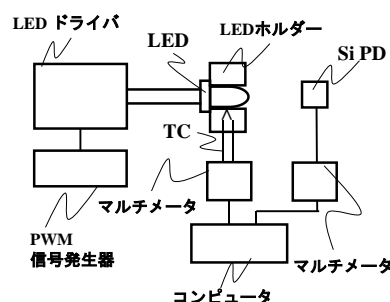


図.1 Duty 比制御安定化パルス LED 光源。

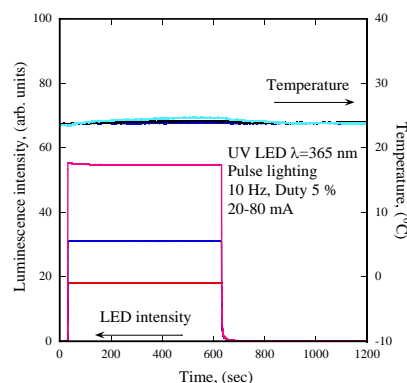


図.2 Duty 比 5% で点灯した LED の温度および発光強度変化。

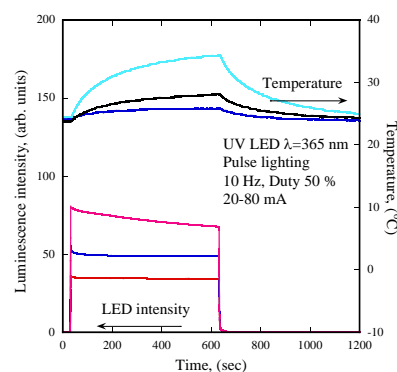


図 3. Duty 比 50% で点灯した LED の温度および発光強度変化。

Duty 制御安定化可視光 LED 光源の評価

Evaluation of stability of visible LED light source using duty ratio control

東洋大理工¹, マツモト精密工業², 吉田 知生¹, 吉田 知生¹, 小森 葉月¹, 小島 愛弥加¹, 斉藤 水波¹, 勝亦 徹¹, 相沢 宏明¹, 松元 健²

Toyo Univ.¹, Matsumoto Precision Co.², Kazuki Yoshida¹, Tomoki Yoshida¹, Hazuki Komori¹, Ayaka Kojima¹, Minami Saitou¹, Toru Katsumata¹, Hiroaki Aizawa¹, Takeshi Matsumoto²

E-mail: katsumat@toyo.jp

はじめに

可視光 LED 光源を使った光吸収、蛍光、光散乱などの光学測定では、LED 光源の通電に伴う温度上昇によって LED の発光強度が低下する¹。ここでは、安定な測定用の可視光 LED 光源を開発する目的で、Duty 比を変えた PWM (Pulse Width Modulation) 信号を使ったパルス点灯可視光 LED の光出力の安定性を評価した。

実験

Duty 比が 0.01 %~99%の間で調節できる PWM パルス発生器、パルス電源、可視光 LED (波長 480、530、630 nm、疑似白色) を組み合わせて図 1 の Duty 比制御安定化パルス LED 光源を試作した¹。LED 光源の発光強度の時間変化および温度変化を Duty 比、パルス周波数、LED の入力電流値を変えて測定した。

結果

図 2 に白色 LED の発光スペクトルの温度変化を示した。点灯時 (通電時) に青色 LED の発光強度、発光波長が変化し、黄色蛍光体の発光強度も変化することがわかる。図 3 に Duty 比 1-50% のパルスで点灯した白色 LED の発光強度と温度の変化を示した。Duty 比が小さければ LED が効果的に冷却され発光強度と温度が安定化した。

参考文献

1. A. Hitomi, T. Katsumata, H. Aizawa, "Photoluminescence measurement of ruby excited by duty ratio-controlled pulse light-emitting diodes (LED) light source", Review of Scientific Instruments, **95** (2024) 054901-1-5.

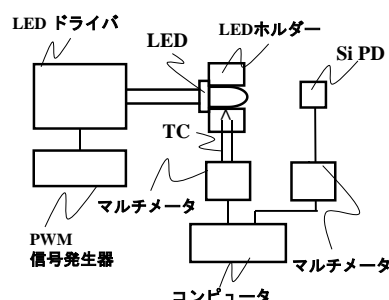


図.1 Duty 制御安定化パルス LED 光源。

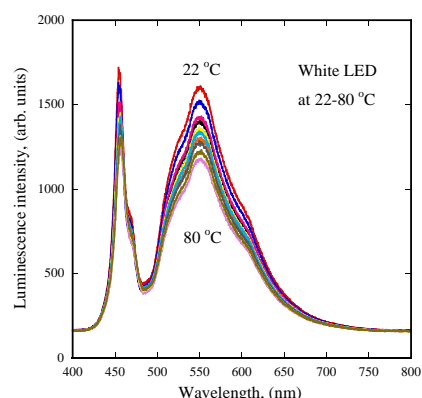


図.2 点灯による LED の発光スペクトルの変化。

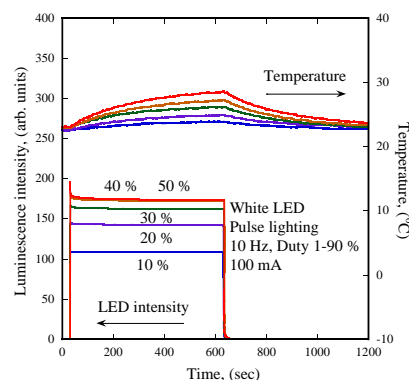


図 3. 白色 LED の発光強度と温度の変化。

弾性表面波を用いた霧化現象の応用

Application of atomization using surface acoustic wave

静岡大学総合科学技術大学院¹ 静岡大学工² °市原弘基¹ 清水優希² 近藤淳¹

Shizuoka Univ. °Hiroki Ichihara, Yuki Shimizu and Jun Kondoh

E-mail: ichihara.hiroki.19@shizuoka.ac.jp

1. 序論

弾性表面波 (SAW : surface acoustic wave) とは、弾性体表面を伝搬する波のことである。SAW の伝搬路上に液滴を滴下すると伝搬面上の液体の挙動は、振動、流動、飛翔といった現象が生じる。この現象を SAW ストリーミングという⁽¹⁾。また、SAW 伝搬面に薄い液膜があると、微細液滴 (ミスト) が発生する^(2,3)。これを霧化現象と呼ぶ。薄い液膜を保持するため、ろ紙を用いて液体を供給している。本研究では霧化現象の応用として、SAW 霧化装置を用いた加湿、薬品散布を目的に霧化量と湿度の関係を求めた。

2. 実験方法

Fig. 1 に SAW 霧化装置を示す。SAW デバイスは 128YX-LiNbO₃ を用いて作製した。くし形電極 (IDT) の中心周波数は 50.305 MHz である。バースト信号を IDT に入力し、SAW を発生させた。液体は SAW デバイス上にろ紙の毛細管現象を利用して自動供給した。実験は密閉空間で行い、湿度センサを用いて湿度変化を計測した。また、霧化量測定のため、電子天秤を用いて SAW 霧化装置の質量減少量を測定した。

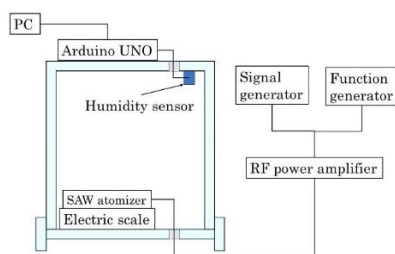


Fig. 1. SAW atomization system.

3. 結果と検討

霧化実験は、蒸留水、5, 15, 65 vol% のエタノール水溶液の 4 種類で行った。いずれの試料液体に対しても霧化は可能であることが分かった。Fig. 2 は 15 vol% エタノール水溶液に対する湿度と霧化量の関係を示している。なお、霧化量は試料液体を入れた SAW 霧化装置の、SAW 励振前後の質量の減少量から自然蒸発量を引いて求めた。Fig. 2 から湿度が高くなると霧化量が減少し、印加電力が大きくなると霧化量も増加することが分かる。しかし、異なる濃度では明確な関係性は見られなかった。原因として、電子天秤が霧化中に霧化以外の微小な変化も読み取っているため、余分な変化量を含んでいたと考えられる。そこで、電子天秤による測定を霧化前後の 2 回のみとした。各液体の各電力における減少量を Fig. 3 に示す。Fig. 3 は測定 3 回の平均値をプロットしている。図から、中心周波数により結果がかなり異なることが分かる。ほとんどが減少量に比例して湿度も上昇していた。しかし、5 vol%

エタノール水溶液で入力電力 3 W で霧化したデータのみ減少量は大きかったものの湿度はほとんど変化がなかった。この結果から、霧化前の溶液と霧化後のミストで濃度が変化している可能性が考えられる。

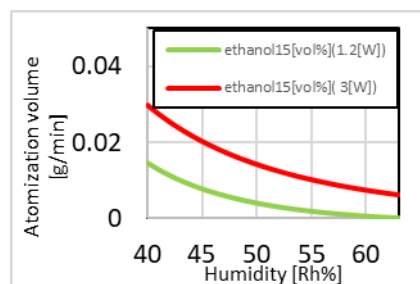


Fig. 2. Relationship between humidity and atomization volume.

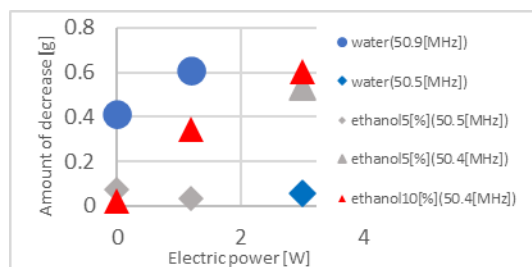


Fig. 3. Decrease in each power

4. 結論

今回の実験結果から、エタノールの霧化は可能であることが分かった。また、デバイスの中心周波数によって霧化量が大きく異なることが分かった。今回最も霧化量が大きかったもので約 10% 湿度が上昇したため、最適化したデバイスを用いれば加湿は十分に可能だと考えられる。薬品散布への応用のため、霧化前後の濃度変化については今後検討の必要がある。

参考文献

- (1) S. Shiokawa, et al., Jpn. J. Appl. Phys., vol. 28(1989) Suppl. 28-1, pp. 126-128
- (2) K. Chono, et. al, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 43, pp. 2087-2991(2004).
- (3) T. Sugiyama, et al., 2015 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS), Taipei, Taiwan, 2015, pp. 1-4, doi: 10.1109/ULTSYM.2015.0538.

超音波速度変化法における超音波ジェルによる冷却の影響

Effect of cooling with ultrasonic gel in ultrasonic velocity change method

阪公大工¹, 阪公大研究推進², TU 技術研究所³○(M2) 中田航貴¹, 高山慧士¹, 和田健司², 松山哲也¹, 岡本晃一¹, 松中敏行³Osaka Metro. Univ.¹, OMU-ESCARI², TU Research Lab.³,○K. Nakata¹, K. Takayama¹, K. Wada², T. Matsuyama¹, K. Okamoto¹, T. Matsunaka³

E-mail: si23215w@st.omu.ac.jp

1. はじめに

我々は、水中の超音波伝搬速度の温度依存性が他の物質と異なることを利用する超音波速度変化法 (UVC 法) を用いて、非侵襲的に生体内の脂肪領域 (脂肪肝, 血管不安定プラーク) を判別する方法について検討してきた. これまでに、ヒト前腕部において皮下脂肪組織と筋肉組織を対象に有効な UVC 画像の描出が可能であることを確認した. 本研究では、超音波ジェルの冷却効果が UVC 法に与える影響について調査・考察した結果を報告する.

2. 実験

Fig. 1 にヒト前腕部における実験系を示す. 被験者の前腕部に対し、超音波アレイトランスデューサ (中心周波数 7.5 MHz) にスタンドオフを設置し、皮膚表面までの厚さ 1 cm を超音波ジェル (4 °C) で埋めた. 熱電対を用いてジェル温度を記録し、1 °C 上がるごとに 9 秒間のエコー画像を取得した.

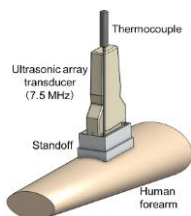


Fig. 1. Experimental setup for UVC imaging

3. 結果と考察

Fig. 2 に測定場所のヒト前腕部の B モード画像を示す. 上からジェル層 (3 mm), 皮下脂肪層 (3 mm), 筋肉層 (24 mm) がみられる.

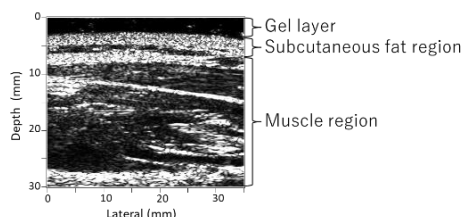


Fig. 2. B-mode image of human forearm

Fig. 3 にジェルの温度がそれぞれ(a) 11 °C, (b) 19 °C, (c) 24 °Cに到達した直後の 9 秒間に取得したデータから描出した UVC 画像を示す. (a)の UVC 画像の色分布から、皮下脂肪組織に近い筋肉領域は冷却されるが、皮膚表面より 8 mm 以上深部の筋肉領域ではジェルによる冷却効果は小さいことがわかった. (b)の UVC 画像では、深部の筋肉領域に温度上昇が見られることから、これは、冷却された皮膚表面付近の温度を上げるための血流による生体反応であると思われる. ジェル温度が体温に近づくと、温度変化は雑音に埋もれ、(c)のように赤色、青色が混在した UVC 画像となる. 以上より、超音波ジェルによる冷却効果は、生体深部までは及ばないものの、生体反応を生じさせるため UVC 画像描出の際に注意が必要である.

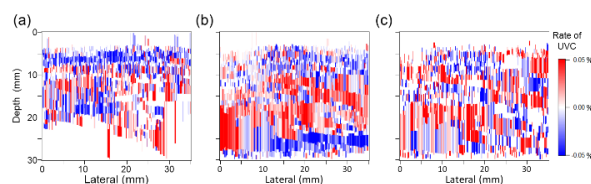


Fig. 3. UVC images obtained from data collected 9 seconds after the gel temperature reached at (a) 11 °C, (b) 19 °C, and (c) 24 °C, respectively.

1 応用物理学一般 | 一般セッション(口頭講演): 1.1 応用物理一般・学際領域

[18a-C43-1~9] 1.1 応用物理一般・学際領域

[18a-C43-1]

万有引力は慣性力

○山内 健

[18a-C43-2]

基底エネルギー理論

○山内 健

[18a-C43-3]

1次元Rice-Mele格子における実空間トポロジカル不変量

○山口 暖¹、服部 公則¹ (1.阪大院基礎工)

[18a-C43-4]

プランクトンにより生じたバイオスペックルに基づくマイクロバイオアッセイ
—重金属(銅)に対する毒性評価—○(M2)小林 祐輝¹、Devi Arti¹、門野 博史¹ (1.埼玉大学)

[18a-C43-5]

菌糸類を用いたマイクロバイオアッセイを目指したバイオスペックルの特性評価

○(M1)中杉 俊太郎¹、Devi Arti¹、門野 博史¹ (1.埼玉大学)

[18a-C43-6]

弦楽器のサブハーモニクス奏法による低次低調波発生の数値シミュレーション

○川野 将太郎¹、伊知地 直樹^{2,3}、小林 研仁³、鈴木 琢矢³ (1.東大院理、2.東大生産研、3.筑波大院)

[18a-C43-7]

PT対称性を用いたSiC MOSFETのリングングノイズ抑制

○矢次 健一¹、大石 航志¹、飯塚 英男¹ (1.豊田中研)

[18a-C43-8]

Spectroscopic assessment of an edible oil for quality determination

○(B)Hazel Mendonca¹, Sharmila Sajankila Nadumane¹, Nirmal Mazumder¹ (1.MSLS, MAHE)

[18a-C43-9]

ブルーライトカットレンズを用いた時の色認識特性の検討 4

○(M2)稲田 真莉乃¹、室谷 裕志¹ (1.東海大院工)

万有引力は慣性力

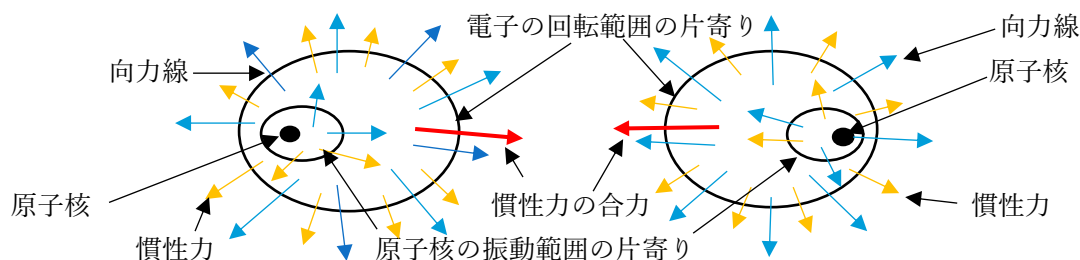
Gravitation is an inertial force

新潟県高等学校元教諭 山内 健

Former high school teacher Takeshi Yamauchi

e-mail kame.hikari@gmail.com

万有引力は空間の歪みやグラビトンの交換によるものではなく慣性力によるものである。重力は万有引力と地球の遠心力の合力であるが慣性力で落下しているのでどこにおいても上方への慣性力はない。これは人の落下時に体感できる。慣性力以外に慣性力を発生させない力はない。尚ここでの慣性力は遠心力を含んでいる。本質的なものは同じからだ。また重力質量と慣性質量は一致していてそれぞれで運動の第二法則が成り立っている。重力質量＝万有引力／重力加速度 及び 慣性質量＝慣性力／加速度 が成り立つ。重力加速度は半径によって変化するので加速度と同様に変数である。重力加速度＝加速度 とした時も 重力質量＝慣性質量 が成り立つので 万有引力＝慣性力 が導ける。慣性力は空間を伝わるものではないので何らかの理由で地上の物体の原子内で慣性力の片寄りが発生してその合力が地面へ向いていると思われる。万有引力を慣性力としても万有引力の法則を満たす必要がある。半径の二乗に反比例するには地球を構成する原子から何らかの影響線が発散されているとしなければならない。この線をここでは「向力線」としさらに磁界や電界に相当するものを「向界」とした。向力線には方向性がある。重力定数 G で質量 M の天体から $4\pi GM$ 本の向力線が発散されているとすると半径 r の距離での単位面積当たりの向力線の本数は GM/r^2 本となる。これが向界の強さであり重力加速度となる。慣性力の片寄りには加速によるものと向界の強さによるものがある。どちらも原子内での慣性力の片寄りと同じ加速度とした場合同じ慣性力の片寄りの状態になる。地上の物体の原子内には向界の強さによる慣性力の片寄りが発生してその合力が地面へ向いている。宇宙空間では四方八方からの向力線が存在していてこれがヒッグス場である。二原子が接近すると原子が作る向界の強さの差から慣性力に片寄りが発生して互いに向かおうとする弱い力が現れる。「万有引力は慣性力」



とすると芋づる式に色々な結果が得られる。「万有引力は引力でなく自ら向界の強い方へ向かう向力である」「万有引力は加速度方向と慣性力方向が同じである」「慣性力による加速や減速に対する慣性力はない」「万有引力は原子内の片寄った慣性力の合力である」「万有引力は向界の強さに比例し向界の強さが重力加速度となる」物質波での加速エネルギーは $e=h\nu$ (h :プランク定数 ν :振動数)の波動エネルギーに変換され質量と向力線が増加する。静止状態でも原子内で振動しているので「質量と向力線量は振動数に比例し向界の強さに無関係でどこでも一定である」また振動が質量や向力線を発生させているので「振動しながら進む粒子や光や音などすべてが質量と向力線を発生させている」と言える。質量は原子内の回転や振動による加速度運動で発生する慣性力が基になっている。慣性力と向力線は共に発散方向で連動しているので「粒子を加速するとそこを貫く向力線と相互作用して後方へ慣性力と自身の向力線を同時に発生させる」と言える。電波を反射するように向力線の一部でも反射する反射板が発明されればそれらを集めて物体に当てることで反重力を実現できることだろう。

基底エネルギー理論

Ground Energy Theory

新潟県高等学校元教諭 山内 健

Former high school teacher Takeshi Yamauchi

e-mail kame.hikari@gmail.com

基底エネルギー理論は物質波による波動性の発生していない状態を基底エネルギー状態としてエネルギーを基に質量の変化や時間のテンポの変化を求める理論である。基底エネルギー状態の時間を基底時間とすると基底時間が一番速く進むことになる。ド・ブロイにより粒子にも波動性があることが明らかにされ物質波の考え方が提唱された。その後運動する粒子や物体は波動性を持っていてその波動エネルギーは加えられたエネルギーに等しいことが電子線の実験で明らかにされた。質量とエネルギーは等価であるので加速エネルギー e を加えられた物体の質量は $m' = m + e/c^2$ と表される。これが基底エネルギー理論における質量の変換式である。そうするとここに収縮率が隠れているはずである。この式の形を変えてやると $m' = \frac{m}{\frac{m+e/c^2}{m}}$ と変形できる。ここで収縮率を β と置いて $\beta = \frac{m}{m+e/c^2}$ とすることができるので質量の変換式は $m' = \frac{m}{\beta}$ となり

時間のテンポの変換式は $t' = \beta t$ となる。一方相対性理論の収縮率を $\alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$ とすると質量の変換式は $m' = \frac{m}{\alpha}$ となり時間のテンポの変換式は $t' = \alpha t$ と表される。式の形は異なるが α と β は同じものを表している。変数として速度を使うかエネルギーを使うかの違いである。この理論ではエネルギーを使うので等速度系と加速度系の両方で使用することができる。 β で質量の変換式と時間のテンポの変換式で積をとると $K = m t = m' t' = m'' t'' = \dots$ となる。これを「質量と時間の反比例式」とした。 K は一定になるので状態間のエネルギーさえ分かれば質量や時間のテンポを決めることができる。ただしこの式は基底エネルギー状態を出発点とした物質波の考えで成り立つ式で高速時に成り立つ式である。両方とも基底エネルギー状態を出発点とした場合は $\alpha = \beta$ とすることができる。 $\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{m}{m+e/c^2}$ この式で e について

解くと $e = \left(\frac{m}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - m \right) c^2$ となりこれが基底エネルギー状態から物体に加速エネルギーが加えられて

質量が徐々に増加する場合の運動エネルギーの式である。高速度で正確であるが低速度で使用すると誤差が大きくなる。質量が変化しない場合の運動エネルギーの式は $e = \frac{1}{2} m v^2$ である。この式は逆に低速度で正確であるが高速度で使用すると誤差が大きくなる。

基底エネルギー理論が等速度系と加速度系の両方の系で使用できることを見てみよう。地球と並進する無限遠の基底エネルギー状態の地点を基準点として GPS の 1 年間の時間のズレについてこの理論で計算してみた。エネルギーとしては地上と衛星軌道で質量 m_0 の GPS の回転速度とポテンシャルエネルギーを考える。最初に地上での時間のズレを求める。地上での自転速度 $u = 463.3121944 \text{ m/s}$ であるので運動エネルギー e は $m \approx m_0$ と置くと $e = \frac{1}{2} m_0 u^2 = 107329.0947 m_0 \text{ J}$ また地球の半径を $R = 6371 \text{ Km}$ とすると無限遠

からのポテンシャルエネルギーは $\phi = - \int_{-\infty}^R \frac{G M m_0}{r^2} dr = 6.254702163 \times 10^7 m_0 \text{ J}$ となる。 $\frac{\phi+e}{c^2} = 6.$

$971234732 \times 10^{-10} m_0 \text{ Kg}$ $C = 2.997925 \times 10^8 \text{ m/S}$ となるので $T = 1 \text{ 秒}$ と置くと基底時間の1秒が地上では T' であるから遅れる時間は $1 - T'$ となる。従って $T' = \frac{m_0}{m_0 + (\phi+e)/C^2} T$ より1年間では $\left(1 - \frac{m_0}{m_0 + (\phi+e)/C^2}\right) \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 0.02175984 \text{ 秒}$ となり地上では 1 年間で 0.02175984 秒基底時間より遅れることになる。

次に GPS の衛星軌道での速度を $u = 3.88 \text{ km/s}$ 回転半径を $R = 26571 \text{ km}$ として同様に求めると GPS の衛星軌道は 1 年間で基底時間より 0.007884 秒遅れると求められる。そうすると地上では基底時間より 0.02175984 秒遅れるので遅れは地上の方が大きい。差し引き GPS は 1 年間で $0.02175984 - 0.007884 = 0.01387584 \text{ 秒}$ 進むことになる。観測値は GPS の方が地上より 1 年間で 0.014 秒進むとなっているのでほぼ等しい値が得られた。この GPS の時間のズレを求めるのに等速度系と加速度系の両方の系にまたがって式が使用されている。両方の系で一本の式が使えるのが基底エネルギー理論の特徴である。この理論は正確な時間を必要としている所で応用が可能である。

参考文献 1、物理学講義と解説 I 鈴木 保正 2、物理学 I 三輪 光雄

3、物理学 II 三輪 光雄

1次元 Rice-Mele 格子における実空間トポロジカル不変量

Real-space topological invariant in Rice-Mele chains

阪大院基礎工, [○](M2) 山口暖, 服部公則

Graduate School of Engineering Science, Osaka Univ., [○]Ata Yamaguchi, Kiminori Hattori

E-mail: u596950d@ecs.osaka-u.ac.jp

現在、新しい技術的なパラダイムとして、トポロジカル物質群が示す特異な現象や機能が注目されている。トポロジカル物質群は時間反転対称性、粒子正孔対称性、カイラル対称性の3つの対称性に基づいて10組に分類されており[1]、それらの相はハミルトニアン連続的な変形に対して不変であるトポロジカル不変量によって特徴付けられる。一般的にトポロジカル不変量は波数空間におけるバルクの固有ベクトルを用いて定義されるが、現実の系のように乱れが存在する場合、並進対称性が破られるため、波数空間における定式化は適用できない。

そこで本研究では、実空間におけるバルクの固有ベクトルを用いて、1次元系における新たな実空間トポロジカル不変量 Q を定義した。不変量 Q は全エネルギー状態を含んだ大域的な指数であり、0 か 1 に量子化される。また、 Q は系の対称性にかかわらず適用可能である。

次に、 Q の観点から、乱れとしてランダムオンサイトポテンシャルが存在する Rice-Mele (RM) 格子のトポロジカルな性質を数値的に解明した。Fig. 1 に $W = 0.01 \sim 10$ のときの 10^4 回の数値計算の平均値 $\langle Q \rangle$ のパラメータ空間 (v, w) における相図を示す (v : セル内ホッピングエネルギー、 w : セル間ホッピングエネルギー、 m : 交替オンサイトポテンシャル、 N : セル数、 W : 乱れの強度)。Fig. 1 より、十分弱い乱れに対して RM 格子のバルクのトポロジ-

は維持され、不変量 Q は確定される。この相では有限のスペクトルギャップが存在することから、ギャップが存在する限り、バルクのトポロジ-は維持され则认为られる。本講演では、実空間における定式化について詳述する。

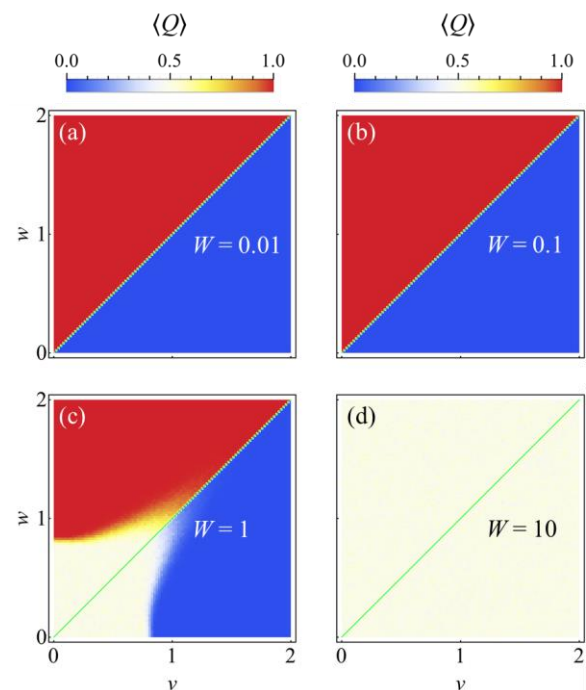


Fig. 1. Maps of disorder-averaged topological invariant $\langle Q \rangle$ in parameter space (v, w) . The disorder strength W is varied as (a) 0.01, (b) 0.1, (c) 1, (d) 10. The panel (d) shows $\langle Q \rangle = 0.5$ in the entire parameter range. These results are derived for $m = 0.5$ and $N = 500$.

[1] A. P. Schnyder, S. Ryu, A. Furusaki, and A. W. W. Ludwig, *Phys. Rev. B* **78**, 195125 (2008).

プランクトンにより生じたバイオスペckルに基づくマイクロバイオアッセイ —重金属(銅)に対する毒性評価—

Micro-Bioassay based on biospeckle generated by plankton-Toxicity assessment for heavy metals (copper)-

Devi Arti¹, Hirofumi Kadono^{1*}, R. Uma Maheswari²

埼玉大学,[○](M2) 小林祐輝, (D)Devi Arti, 門野博史

Saitama Univ.,[○]Yuki Kobayashi, Devi Arti, Hirofumi Kadono

E-mail: kobayashi.y.633@ms.saitama-u.ac.jp

1. まえがき

近年、種々の化学物質による水質汚染が深刻な環境問題となっている。その対策として、水質の毒性を評価する必要がある。しかし、化学物質は現在 2 億種類以上登録されているため、従来の化学分析により化学物質の毒性を個々に評価する手法は技術・コスト的に非常に困難である。そのため、化学物質を特定せずにプランクトンなどの微生物の反応から水質汚濁の毒性を評価するマイクロバイオアッセイが注目されている。この手法では、微生物の生死や遊泳能力などの重要な特徴を把握するために顕微鏡観察が必要となる。しかし、微生物のサイズが小さくなると撮像システムの焦点深度が狭くなるため、観察が難しくなる。我々は、このような困難を克服するために、環境の毒性に対するプランクトンの遊泳活性に着目し、バイオスペckルに基づく結像系を用いた新しい手法としてバイオスペckルマイクロバイオアッセイを提案し、有効性の検証をおこなってきた[1]。今回は、汚染物質として銅に注目して、動物及び植物プランクトンを用いて提案手法の有効性を調べた。

2. 実験および結果と考察

本研究では、微生物として 200~300 μ m のゾウリムシ(*P. caudatum*) 及び 35~30 μ m のミドリムシ(*E. gracilis*) を使用し、毒性物質として鉱山などの排水に含まれる重金属の一例として銅イオン(CuSO_4)を使用した。実験光学系を Fig.1 に示す。厚さ 1mm のサンプルセルを直径 15mm のレーザー光(波長 638nm)で照射し、試料からの非散乱光(鏡面成分)をレンズ L2 の焦点面に置かれた空間フィルターによって除去することにより、バイオスペckルパターンの変動を CCD カメラ(60fps)によって撮影した。銅濃度は上限を水質基準値である 1[mg/L]として、0.2[mg/L]間隔で用意した。ゾウリムシの試料はそれぞれ 3 サンプルずつ作成した。90 分の暴露の後にバイオスペckルパターンを 2 分間撮影した。この時、照射領域内の個体数は約 8600 であった。バイオスペckルはプランクトンの遊泳活性を反映してその変動速さに変化する。その解析のため、(1)式を用いて初期画像 $I(t_0; x, y)$ と時刻 t_i での画像間 $I(t_i; x, y)$ の相互相関関数 ρ を計算した。

$$\rho(t_i) = \frac{\sum_{x,y} \{I(t_i; x, y) - \langle I \rangle\} \{I(t_0; x, y) - \langle I \rangle\}}{\sqrt{\sum_{x,y} \{I(t_i; x, y) - \langle I \rangle\}^2 \sum_{x,y} \{I(t_0; x, y) - \langle I \rangle\}^2}} \quad (1)$$

時刻 0 の時の相互相関係数 $\rho=1$ から $1/e$ に減少するまでの時間(相関時間)を求めた。

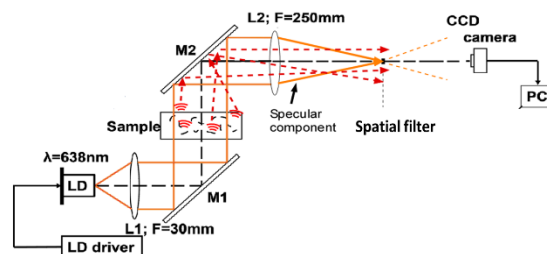


Fig.1 Optical analysis used for experiment

相互相関関数は銅濃度が増加するにしたがって広がっている。これは遊泳活性が低下していることを示唆している(Fig. 2)。相関時間は 0, 0.2, 0.4[mg/L]では有意差が確認でき、これは環境基準(1[mg/L])以下の少しの変化でも好感度に評価できることを示唆している(Fig. 3)。一方で 0.4 以上の高濃度では変化は見られず、遊泳活性に大きな変化は認められなかった(Fig. 3)。これは水質が大きく悪化した際に環境に適応するために動きを止めた可能性が考えられる。

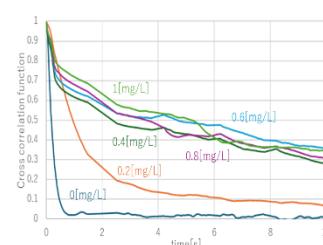


Fig 2. cross correlation function for different CuSO_4 concentration for *P. caudatum*

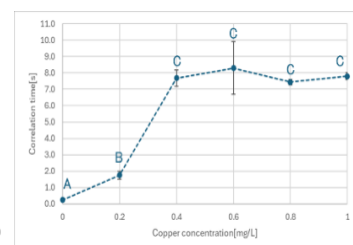


Fig 3. Correlation time for different CuSO_4 concentration for *P. caudatum* at concentration.

3 まとめ

本研究により実環境の毒物である銅の濃度変化によるプランクトンの遊泳活性を定量的かつ高感度に評価できることを確認した。この方法の利点は、非結像システムであるため、顕微鏡では分解できない小さな生物にも有効である点である。また、膨大な数のプランクトンを一括して処理することができるため、環境汚染の影響下におけるプランクトンの遊泳能力を統計的に有意に推定することが即座にできる。本手法では対象物によらず同じスペckルパターンに変換されるためプランクトン、細菌、体細胞に対しても適応可能である。

[1] [15a-A405-2], Application of bio-speckle on micro-bioassay with plankton IV, Devi Arti 1, H. Kadono^{1*}, R. Uma Maheswari², JSAP Annual Meetings Extended Abstracts The 70th JSAP spring Meeting 2023.

菌糸類を用いたマイクロバイオアッセイを目指したバイオスペckルの特性評価

Characterization of biospeckle for micro-bioassay using mycelium

埼玉大学, [○](M1) 中杉俊太郎, (D) Devi Arti, 門野博史Saitama Univ., [○]Shuntaro Nakasugi, Devi Arti, Hirofumi Kadono

E-mail: s.Nakasugi.534@ms.saitama-u.ac.jp

1. 研究背景

近年、化学物質による環境汚染問題が深刻化している。この問題に対し、従来では汚染物質を特定し対処していく手法がとられていたが、現在登録されている化学物質は2億種を超えており、個々の化学物質を特定しその毒性を個々に評価する手法は莫大な時間とコストがかかり、現実的ではない。そこで、汚染物質を暴露された生物材料の応答性から毒性を評価するバイオアッセイという手法が注目を集めている。中でも、生物材料に微生物を用いるものをマイクロバイオアッセイと呼ぶ。この手法では、顕微鏡観察により例えば微生物の生死を判別する必要があるが、顕微鏡の倍率を高くすると焦点深度が浅くなり、微生物が観察可能な範囲から移動してしまう等の問題点がある。

本研究室では、これまでにプランクトン(ゾウリムシ、ミドリムシ)を用いて独自に提案した結像系を用いない光学的手法により、バイオスペckルによるマイクロバイオアッセイ法の有効性の検証をおこなってきた[1]。本研究では、好湿性の真菌である *cladosporium* を重金属の一種である亜鉛環境下で培養し、亜鉛毒性の評価に対する有効性を検証した。

2. 実験方法および結果と考察

Fig.1 は、本実験で使用した光学系である。菌糸類を培養したサンプルセルに波長 638[nm]のレーザー光を照射し、試料を透過した光に対して非散乱成分を空間フィルター(Spatial Filter)によって除去している。それによって、散乱によって生じたバイオスペckルを観測した。菌糸類の組織内の散乱粒子の運動や、細胞内の微小構造体の活動に応じて得られたバイオスペckルが変化するため、この変化を解析することによって菌糸類の活性の評価が可能である。

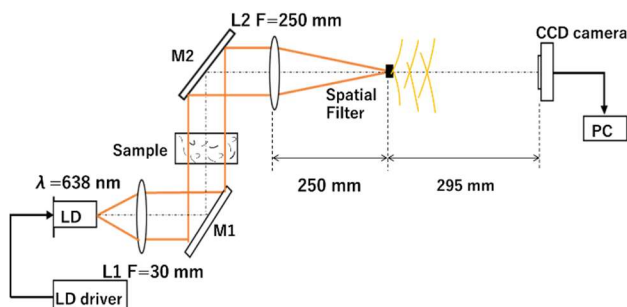


Fig.1

菌糸類を培養する際、温度は27 [°C]とし、培地の亜鉛濃度は0, 5, 10, 50, 100 [mg/L]とした。培養開始7,8日目に、2分間バイオスペckルを撮影した。菌糸類の活性を定量的に評価するため、初期画像と一定時間後の画像に対して相互相関関数を算出し、そのデータを用いて相関時間を測定した。

相互相関関数は、亜鉛濃度が増加するにつれてひろがりが大きくなっている。これは、亜鉛濃度増加に伴い菌糸類の活性が低下していることを示している。

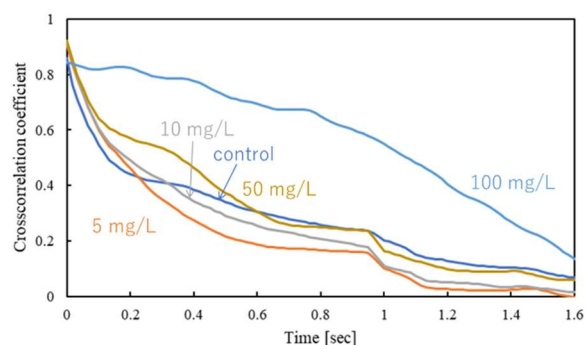


Fig.2

相関時間は、亜鉛濃度を5, 10, 50 [mg/L]としたとき減少しており、菌糸類の活性が大きくなっていることがわかった(Fig.3)。これは、低濃度の亜鉛は菌糸類にとって微小栄養素として働き、活性を増加させることを示している。50 [mg/L]の亜鉛は、人間を含め様々な生物に対して有毒な物質であるが、低濃度であれば菌糸類に対しても微小栄養素として働くことは、興味深い。

また、濃度が100 [mg/L]のとき、相関時間が長くなっており、菌糸類の活性が低下していることがわかった。このことから、100 [mg/L]の亜鉛は菌糸類に対して高濃度であり、毒性を示していることになる。

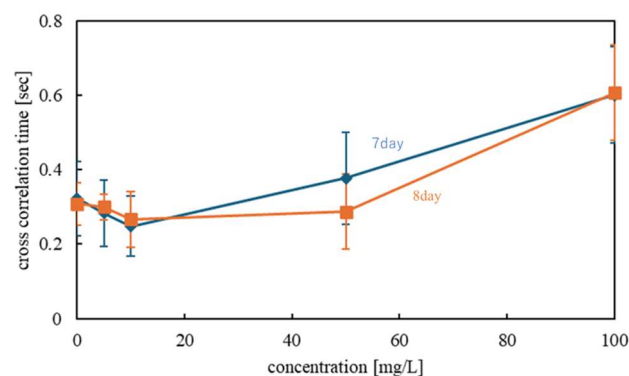


Fig.3

4. まとめ

本研究により、亜鉛の低濃度での微小栄養素としての働きと高濃度での毒性が確認でき、亜鉛の濃度変化による菌糸類の活性の変化を定量的に評価できることを確認した。本手法の利点は、微生物を集合体として観測することで効率的に評価できる点と、サンプル像をスペckルパターンに画像変換することにより、まったく異なる微生物でも同じ手法を用いることができる点が挙げられます。

[1] [15a-A405-2] Devi Arti, Application of bio-speckle on micro-bioassay with plankton IV

弦楽器のサブハーモニクス奏法による 低次低調波発生の数値シミュレーション Numerical Simulation of Low-Harmonic Generation from Subharmonics Playing of String Instruments

1. 東大院理、2. 東大生産研、3. 筑波大院

○川野 将太郎¹、伊知地 直樹^{2,3}、小林 研仁³、鈴木 琢矢³

1. Graduate School of Science, The Univ. of Tokyo, 2. IIS, The Univ. of Tokyo

3. Graduate School of Science and Technology, Univ. of Tsukuba

◦Shotaro Kawano¹, Naoki Ichiji^{2,3}, Kenji Kobayashi³, Takuya Suzuki³

E-mail: s-kawano518@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

バイオリン属の擦弦楽器は指で弦を押さえることにより弦の振動範囲を無段階に調節することができる。その発生音のうち、高音領域については厳密な限界は存在しないが、低音側領域には弦の種類に応じた開放弦での基本振動に準じた最低音が存在する。一方で、この下限よりもさらに低周波数音の発生を可能とする技法として、弦に対して弓の圧力を強く一定に保つことによるサブハーモニクス(subharmonics) [1]、または異常低音(Anomalous Low Frequency, ALF) 発生[2]と呼ばれる奏法が提案されている。これらの低音発生メカニズムはいくつかの文献において言及されている[3-5]。しかし、代表的機構である基準振動の整数分の一の振動数を持つモード、すなわち低次低調波の発生をはじめとして、サブハーモニクス奏法時における弦の振動モードの実験的観測に基づく物理的機構の解明には至っていない。

我々はこれまでに、通常奏法とサブハーモニクス奏法における弦の振動の様子をハイスピード撮影によってそれぞれ記録し、両者の間で異なる弦の空間振動モードが現れることを実験的に示した[6]。本研究では、有限要素法によるバイオリン属擦弦楽器の振動励起モデルを用い、観測された2つの奏法における励起振動モードの探索を行った。

本研究では、駒とナットを固定端とし、弦のある一点を弓による摩擦力で励起する有限要素モデル[7,8]を用いた。その概念図を Fig. 1-(a), (b)に示す。Fig. 1-(c)において、非励起時の位置から $\mathbf{u}(x_0, t)$ だけ変位している重さ dm のノードに張力 N が作用する場合、運動方程式 $dm \cdot \partial_t^2 \mathbf{u}(x_0, t) = dx_0 \cdot \partial_x N$ が成り立つ。Fig. 1-(b)に赤で示した弓と接するノードでは、摩擦力に応じて弓と一体となる引っ付き(stick)運動と滑り(slip)運動が切り替わる。弓と弦の間の摩擦力が最大静止摩擦力を超える場合(stick から slip)、および相対速度が一定値以下になる場合(slip から stick)の2つを切り替え条件とした。以上の数値モデルを用いて、基準振動 131.4 Hz の弦を一定速度の弓で励起した場合の弦の振動周波数スペクトルを計算した(Fig. 2)。各スペクトルは、弓の押し込み深さを 0.25 mm または 0.75 mm とした場合の結果であり、基準振動のみのピークおよび低次低調波を含む複数の振動ピークがそれぞれ確認された。これらは弦に対して異なる弓圧で励起された、通常奏法およびサブハーモニクス奏法におけるそれぞれの振動モードに対応すると考えられる。

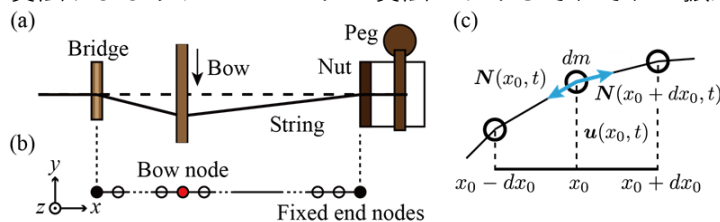


Fig. 1 Schematics of (a) the bow and the string relationship on the violin family and (b) the discretized string with finite nodes. Both end nodes are fixed, and the red node represents the bow contact position. (c) shows the relationship around the node at a position x_0 ; dm : mass, $\mathbf{u}(x_0, t)$: displacement vector, N : tension vector.

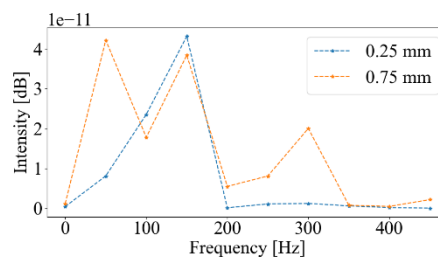


Fig. 2 Vibration spectra of the string excited by a bow with a pushing depth of 0.25 mm and 0.75 mm, respectively.

- [1] M. Kimura, J. New Music Res. **28**, 178 (1999).
 [2] R. J. Hanson *et al.*, J. Acoust. Soc. Am. **97**, 3270 (1995).
 [3] K. Guettler, "The bowed string," Doctoral dissertation, Institutionen för talöverföring och musikakustik (2002).
 [4] T. D. Rossing, The Science of String Instruments (Springer New York, 2010).

- [5] E. Schoonderwaldt, Acta Acustica united with Acustica **95**, 901 (2009).
 [6] 伊知地 直樹 他、第 70 回応用物理学会春季学術講演会、15p-D405-4、2023 年 3 月。
 [7] M. Bellante, "Numerical simulation of a violin string motion," Master thesis, Politecnico di Milano (2015).
 [8] Ö. Akar *et al.*, J. Vib. Acoust. **142**, 051112 (2020).

PT 対称性を用いた SiC MOSFET のリングングノイズ抑制

Ringing suppression of SiC MOSFET with passive PT-symmetry

豊田中研 [○]矢次 健一, 大石 航志, 飯塚 英男

Toyota Central R&D Labs., Inc., [○]Kenichi Yatsugi, Koshi Oishi, Hideo Iizuka

E-mail: yatsugi@mosk.tytlabs.co.jp

SiC などのワイドギャップ半導体デバイスでは高速スイッチングによる損失低減が期待される一方で、スイッチング時に寄生インダクタとデバイスの容量で発生する電流・電圧の共振であるリングングの抑制が重要である。

近年、PT 対称性の概念が各種の波動の制御において注目を集めている。PT 対称性の代表的な構成として、損失と利得が釣り合った2つの結合共振系がある。このような系では Exceptional point を境に固有値が実数となり、2つの共振系にエネルギーが等しく分配される (unbroken phase)。さらにこの PT 対称性の概念は、大小異なる損失を有する2つの結合共振系にも拡張することができ (Passive PT 対称性)、unbroken phase では2つの結合共振系にエネルギーが等しく分配される。

本研究では、外部 RLC 共振器を磁気結合させ、PT 対称性の概念に基づいた回路設計を行うことで SiC MOSFET のリングングが効果的に抑制できることを示す[1]。主回路に損失を有する外部 RLC 共振器を結合させることで、PT 対称な系を構成することができる。そして Exceptional point となるように外部共振器の損失を設計することで、リングングのエネルギーを外部共振器に効果的に分配して消費することができる。Figure 2(a)と(b)にそれぞれ外部共振器が無い場合と用いた場合の SiC MOSFET のスイッチング電圧波形を示す。外部共振器を結合させた場合にはリングングが効果的に抑制されている。本研究で示したリングングの抑制は PT 対称性の重要な応用先の一つとして期待される。

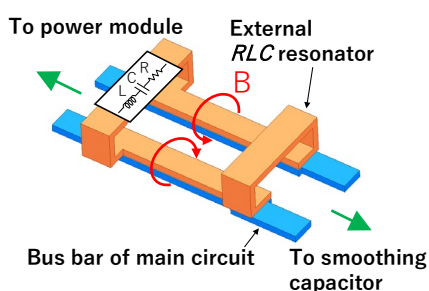


Figure 1. Magnetically coupled external RLC resonator via bus bar.

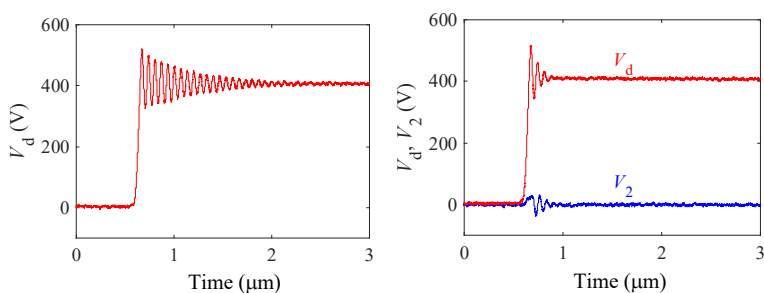


Figure 2. Switching voltage waveform (a) without and (b) with external resonator. V_d and V_2 are voltage of SiC MOSFET and external resonator, respectively.

- [1] K. Yatsugi, K. Oishi, and H. Iizuka, "Ringing Suppression of SiC MOSFET Using a Strongly Coupled External Resonator Through Analogy With Passive PT-Symmetry" IEEE Trans. Power Electronics, **36**, 2964 (2021).

Spectroscopic Assessment of an Edible Oil for Quality Determination

Hazel Mendonca, Sharmila Sajankila Nadumane, Nirmal Mazumder *

Department of Biophysics, Manipal School of Life Sciences, Manipal Academy of Higher Education, Manipal, Karnataka, India -576104

*Corresponding author: nirmal.mazumder@manipal.edu

1. Introduction:

Oil is necessary for cooking because it improves flavour and texture and transfers heat more easily; Mustard seeds generate mustard oil, which is widely used across India [1]. Mustard oils have medicinal and cooking importance. In the context of edible oils, photo-oxidation can lead to the generation of unpleasant flavours and odours, as well as the degradation of nutrients and the formation of potentially harmful compounds. Spectroscopic approaches are more accurate, faster, and less expensive; a few of these are UV-vis, Fluorescence, and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

2. Materials and Methods:

Materials used in this experiment are five samples of mustard oil purchased from a local market. Five light samples were exposed under an artificial condition of an LED ceiling light (wavelength varying between 400-750nm) at room temperature. 35 ml of each oil were stored in ten 50 ml Tarson tubes. These samples were exposed to light prior for approximately 9h daily for 98 days. The other five dark samples were stored in an opaque area at room temperature of 22°C for further evaluation. Once every 15th day, the UV-Vis experiment was performed under sterile conditions using GENESYS 250 spectrophotometer with a scanning range of 300-800nm. Graphs were plotted for evaluation of intensity modification using the application OriginPro software. Fluorescence analysis was performed on a TECAN Spark spectrophotometer once every 90 days. The light-exposed samples were named A, B, C, D, and E, respectively. Dark exposed samples were named A1, B1, C1, D1, and E1, respectively

3. Results:

Spectroscopic methods were performed to study the impact of light and dark conditions on mustard oils to identify the extent of oxidation. The initial colour of the mustard oil was dark brown, and eventually, after 205 days of being exposed to artificial light, the colour changed to light brown.

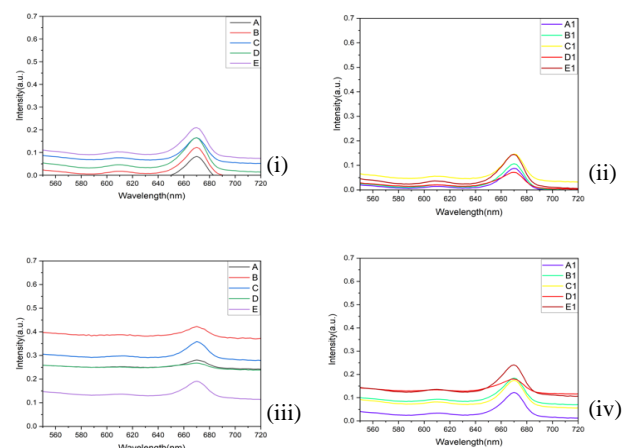


Fig.1. – (i) UV-vis spectroscopy graph of oil samples after 99 days of light exposure. (ii) UV-vis graph of oil samples after 99 days of dark exposure. (iii) UV-vis spectroscopy of oil samples exposed to light after 205 days of light exposure. (iv) UV- vis spectroscopy of oil samples 205 days of dark exposure

Results show that the major peak is observed between 640-700nm. A minor peak is observed between 600-620 nm. A variation in intensity exists between the oil samples in light and dark conditions over a period of 205 days. A common oil ingredient, chlorophyll, exhibits absorption at 670 nm in Fluorescence analysis.

4. Conclusion:

Oils under dark conditions underwent slower oxidation than those under light conditions.

5. Acknowledgment: We thank Manipal School of Life Sciences, Manipal, Karnataka, India for providing infrastructure and facilities.

6. References:

[1] Banik, S., Sengupta, A., Sindhoora, K. M., Chakraborty, I., Mahato, K. K., & Mazumder, N., (2021). Analysing the Oxidation Status of Mustard Oils using Spectroscopic Methods: a Preliminary Study. In *Laser Science* (pp. JTU1A-67), Optica Publishing Group.

ブルーライトカットレンズを用いた時の色認識特性の検討 4

Study of color recognition characteristics when using blue light-cut glasses 4

○ 稲田 真莉乃, 室谷 裕志 (東海大院工)

○ Marino Inada, Hiroshi Murotani
(Grad. Sch. of Eng., Tokai Univ.)

E-mail: murotani@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

1. 背景・目的

ブルーライト光とは、380 nm～495 nm 付近の波長の青色光とされている¹⁾。人間は、色情報を網膜にある視細胞である L, M, S の 3 錐体への光刺激より得ている。S 錐体のピーク感度は 440 nm 付近であり、ブルーライト光がカットされることにより色の判別への影響が考えられる。実際に、目視検査における色彩判別作業への影響も作業者から報告されている。前回の研究報告では、紫の色味での色彩弁別能力が低下および、被験者による弁別能力の巧拙があることが確認できた。その要因として眼鏡装着により色の濃淡で判別が可能になったのではと考察した。そのため今回は被験者による弁別能力の巧拙の原因についての色の明度および色調の変化を中心とする仮説検証を目的とした。

2. 実験方法

100 Hue テストによる検査の様子を Fig. 1 に示す。色相配列検査を被験者 18 名で行った。照明には、昼光色の標準光源 D65 を使用した標準光源装置 (BYK-Gardner 製) を用いた。100 Hue テストは被験者が両端に固定されている色の間のコマを似た色の順に並べることにより色覚異常の程度を判断するものでマンセル色相環を網羅している (Fig. 1)。眼鏡装着時の色順応の影響を考慮して、装着順と内箱を試行する順を無作為にして色順応の影響を低減した。裸眼と市販のブルーライトカット眼鏡 2 本の計 3 条件で色覚配列検査を行った。評価に利用した眼鏡の正透過率の分光スペクトルを Fig. 2 に示す。

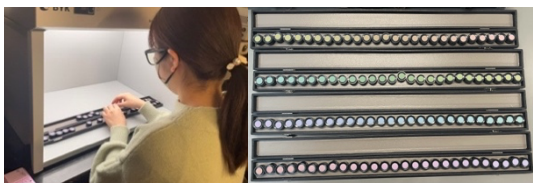


Fig. 1 Farnsworth Munsell 100 Hue color tests and the color frames of Farnsworth Munsell 100 Hue color tests

3. 結果および考察

代表的な特性を持つ、弁別能力の高い被験者 1 と低い被験者 16 の 100 Hue テスト結果レーダーチャート図を Fig. 3 に示す。被験者 1 は裸眼成績が普通で眼鏡装着により成績が優秀となった。被験者 16 は裸眼も眼鏡装着後も成績に変化が現れなかった。被験者 1, 16 ともに裸眼時の結果では紫系統の後半で誤り値が多いことが確認でき、glasses B 装着でのテスト結果ではこの誤り群が赤色方向に移動していることを確認できた。これは他の被験者にもみられる傾向であ

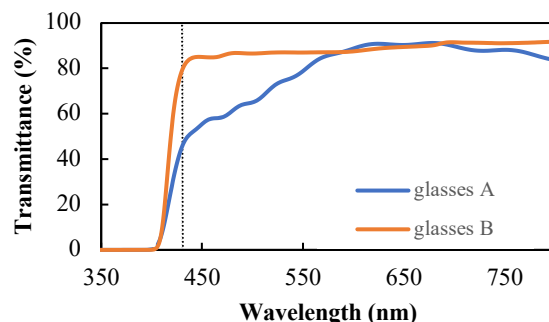


Fig. 2 Transmittance spectra of blue light cut glasses

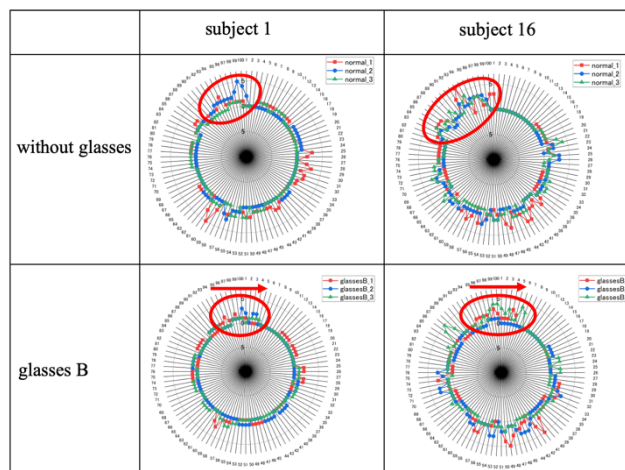


Fig. 3 Farnsworth Munsell 100 Hue color tests results for high score subject 1 and low score subject 16 radar chart

った。この傾向は、ブルーライトカット眼鏡装着により青色の色味が削られて、赤色の方向に色味全体が移動し、間違い群も移動したものと考えられる。

4. 結論

ブルーライトカット眼鏡を装着することにより、個人差はあるが、紫系統での色彩弁別能力の変化があり、その原因は色調のシフトにあると考えられる。

5. 謝辞

本研究で行った実験の被験者を努めていただいた方々に感謝致します。

6. 参考文献

- 1) 日本眼科学会, 他. 小児のブルーライトカット眼鏡装用に対する慎重意見. 2021.
- 2) 稲田真莉乃, 室谷裕志. ブルーライトカットレンズを用いた時の色認識特性の検討, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24a-12C-2, 2024
- 3) 稲田真莉乃, 室谷裕志. ブルーライトカットレンズを用いた時の色認識特性の検討 2, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-A311-5, 2023

1 応用物理学一般 | 一般セッション(口頭講演): 1.2 教育

[19a-C43-1~5] 1.2 教育

[19a-C43-1]

安価なカーボン系導電性塗料による フレキシブルな発熱素子の検討

○松本 宗一郎¹、市川 颯太¹、伊藤 光樹¹、白樫 淳一² (1.釧路高専、2.東京農工大)

[19a-C43-2]

透写紙上に描かれたPencil-Trace によるフレキシブルエレクトロニクスを検討

○伊藤 光樹¹、神谷 優太¹、白樫 淳一² (1.釧路高専、2.東京農工大)

[19a-C43-3]

初心者教育のためのマイクロチップレーザーワークショップ

○花村 諭志¹、バティスト ブルネット²、フロラン カスレ²、佐藤 庸一³、平等 拓範^{2,3} (1.(株)ハナムラオプティクス、2.自然科学研究機構 分子科学研究所、3.理化学研究所 放射光科学研究センター)

[19a-C43-4]

工業科教育職員免許状取得のための科目「職業指導」

○葛生 伸¹ (1.福井大工)

[19a-C43-5]

光速度不変と走行電子の質量増加理論の破綻の考察

○土田 成能¹ (1.ダビンチ研)

安価なカーボン系導電性塗料による フレキシブルな発熱素子の検討

Investigation of an electrothermal flexible actuator

created by inexpensive carbon-based electrical conductive paste on paper

釧路工業高等専門学校¹、東京農工大院工²

○松本宗一郎¹、市川颯太¹、伊藤光樹¹、白樫淳一²

National Institute of Technology, Kushiro College¹, Tokyo University of Agriculture & Technology²

○S. Matsumoto¹, S. Ichikawa¹, M. Ito¹, and J. Shirakashi²

E-mail: p200115@kushiro.kosen-ac.jp

近年、メカトロニクスの基材に紙を使用する"ペーパーメカトロニクス"が注目されている。紙ならではの特性を活かした環境に優しいメカトロニクスであり、シンプルで安価な構造を組み立てるシステムとしても教育現場で活用が検討されている[1]。一方で、近年扱いが容易であることから導電性塗料が注目されている。導電性塗料は導電性を有する粒子が含まれた塗料であり、自在に電気回路を作製可能であることから、これまでのペーパーメカトロニクスにおける他の検討でも活用された例が報告されている[2]。しかしながら、このような導電性塗料は高価であるという問題を抱えており容易に扱えるものとはいえない。そこで、本研究ではより安価で扱いが容易なカーボン系導電性塗料についての検討を行う。このような検討を通じて、本研究では当該導電性塗料のペーパーメカトロニクスへの展開を見据えてその発熱素子としての特性の評価を行った。

はじめに、カーボンを主成分とする導電性塗料を作製した。ここでは、入手が容易で安価でかつ酸化されにくいという理由からカーボンを使用している。これまで当研究室で報告してきたプロセス[3]と同様に長さや幅を固定して、カーボンの量を変化させてサンプルを作製した。図1に複数サンプル間での抵抗値との関係を示す。図より、カーボンの含有量が多くなるにつれて、サンプル間でのばらつきが見られながらもその抵抗値が小さくなるように制御できていることがわかる。同様なプロセスにより、紙面上に発熱素子を作製した(図2(a))。作製したサンプルに対し、電圧を印加して素子中央部付近での温度特性を図2(b)に示す。図より、電圧15Vを印加して50s経過した時点で337Kまでの温度の上昇が見られた。以上の結果から、安価なカーボン系導電性塗料により紙面上にフレキシブルな発熱素子を作製できることが示唆された。

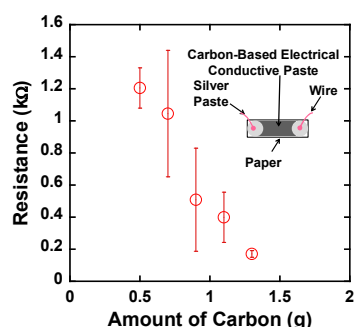


Fig. 1 The resistance of the hand-drawn resistor. Inset: Schematic of fabricated resistor.

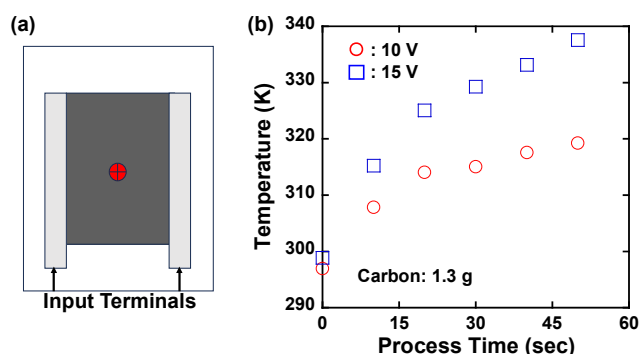


Fig. 2 (a) Schematic figure of electrothermal flexible actuator. (b) The measured heat response of an actuator during applying voltage 10 V and 15 V.

References

- [1] O. Hyunjoo et al., "Paper mechatronics: A design case study for a young medium," in Proc. 14th Int. Conf. Interaction Design Children, 2015, pp. 371–374.
- [2] Z. Zhu et al., Microelectron Eng 191 (2018) 72.
- [3] 伊藤他: 第 71 回応用物理学会春季学術講演会 25p-11F-3 (2024).

透写紙上に描かれた Pencil-Trace による フレキシブルエレクトロニクスの検討

Pencil-drawn graphitic traces on
semitransparent paper for flexible electronics

釧路工業高等専門学校¹、東京農工大院工²

○伊藤光樹¹、神谷優太¹、白樫淳一²

National Institute of Technology, Kushiro College¹, Tokyo University of Agriculture & Technology²

○M. Ito¹, Y. Kamiya¹, and J. Shirakashi²

E-mail: m-ito@kushiro-ct.ac.jp

近年、エレクトロニクスの基材に紙を使用する"ペーパーエレクトロニクス"[1]が注目されている。紙ならではの特性を活かした環境に優しいエレクトロニクスである。次世代の半導体デバイスへの応用が期待されるナノカーボン材料は、現状その製法のプロセスが複雑、また構造を作ることが難しいという特徴が挙げられる。一方で、近年扱いが容易であることから Pencil-Trace が注目されている。Pencil-Trace は紙面上に、鉛筆によりパターンを描くことで自在に電気回路やセンサー等を作製可能であることから、様々な応用が期待される。これまでに、当研究室では普通紙に対して、Pencil-Trace を描いてその抵抗値の制御や RC 回路の作製について報告を行ってきた[2]。そこで、本発表では今後の更なるフレキシブルエレクトロニクスの展開を見据え、基材となる紙について、光を透過する透写紙に変更してその基礎特性の制御の検討を行った。

はじめに、これまで当研究室で報告してきたプロセス[2]と同様に紙面上に幅を一定として長さとし鉛筆の濃度を変更させながら、Pencil-Trace を描いた。このようなプロセスを透写紙と普通紙上でそれぞれ行った。図 1(a)-(b)にそれぞれ透写紙と普通紙上での、抵抗値と長さの関係を示す。図より、Pencil-Trace の長さが大きくなるにつれてその抵抗値が増加することがわかる。また、その抵抗値の変化は鉛筆の濃度が濃い 6B や 8B の鉛筆程抑制されることから、このような濃度の濃い鉛筆を使用することで Pencil-Trace の特性のばらつきを抑えながらセンサー等のデバイスを作製出来るものと考えられる[3]。以上の結果から、これまでの普通紙と同様に透写紙上に Pencil-Trace を描いてその抵抗値を制御できることが示唆された。

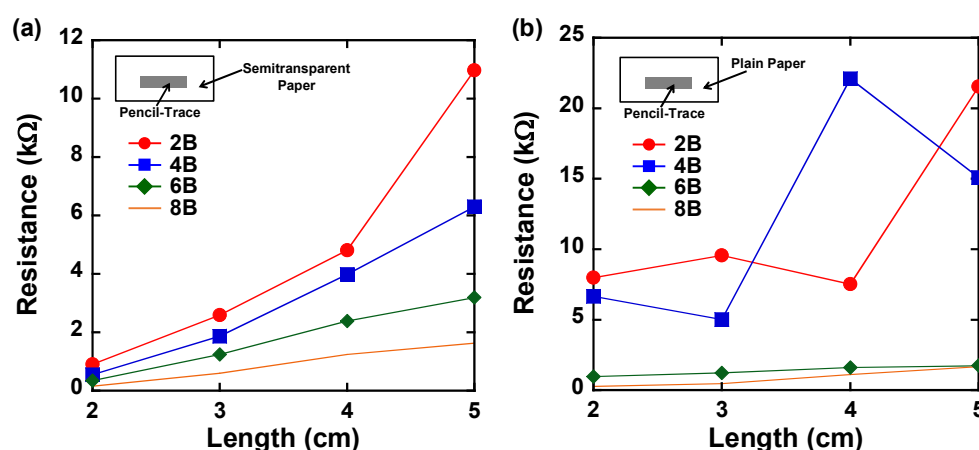


Fig. 1 The resistance of the pencil-trace on (a) semitransparent and (b) plain paper. Inset: Schematic of fabricated pencil-trace.

References

- [1] N. Kurra and G. U. Kulkarni, Lab Chip 13 (2013) 2866.
- [2] 伊藤他: 第71回応用物理学会春季学術講演会 25p-11F-3 (2024).
- [3] S. Padmanabha et al., J. Phys. Conf. Ser. 2571 (2023) 012029.

初心者教育のためのマイクロチップレーザーワークショップ

花村諭志¹, Baptiste Bruneteau², Florent Cassouret², 佐藤庸一³, 平等拓範^{2,3}, (株)ハナムラオプティク

ス¹, 自然科学研究機構 分子科学研究所², 理化学研究所 放射光科学研究センター³

E-mail: satoshi@hanamuraoptics.com, taira@ims.ac.jp

1. はじめに

基礎研究の基本ツールであるレーザー装置は、産業用途の裾野拡大もあり、その重要性がますます高まっている[1]。その反面、レーザー初心者が原理から使用法までの包括的な学習をする機会是非常に限られている。我々はこれまでに尖頭出力 100 メガワット(MW)級の超小型レーザーを開発しており[2], そこで用いられた基盤技術[3]を応用した超小型の 10 MW 級マイクロチップレーザー(MCL)システムを用いて、レーザーの初学者向けワークショップを設計したので報告する。

2. 本ワークショップにおける学習内容

レーザー装置の三要素とは(1)共振器, (2)光利得媒質, (3)励起源である[4]。共振器には $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 可飽和結晶を用いた受動 Q スイッチを利用し, 光利得媒質には共振器とゲインアパーチャ(GA)[5]を構成する 2 つの $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 結晶を用いる。励起源には半導体レーザー光を用いる。ワークショップでは, $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ 可飽和結晶の有無, 励起系のパワー, ビームモード, 励起タイミングなどを調整しながらレーザー出力を取得し, 出力パワー及びビーム品質の変化を体験する。これによりレーザーの熱問題, 励起光と発振光のモードマッチング等, レーザー動作原理から実装上の問題点まで理解できる。

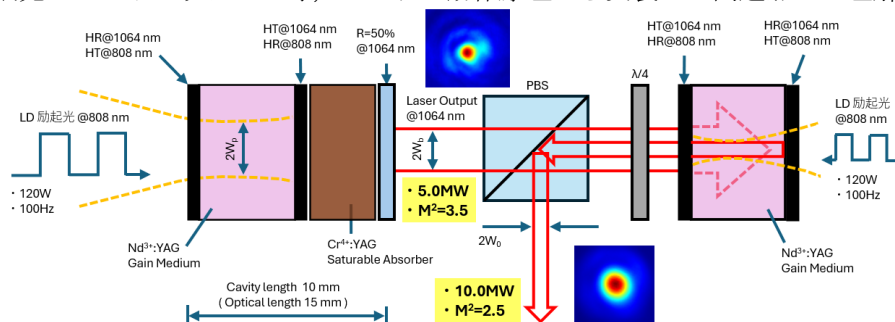


図 1: 共振器モデル及び GA の原理: ビーム径 w_b の発振光を w_0 のみ増幅

3. MCL ワークショップで用いられるレーザー装置の特性

図 2 (a)ではフリーラン発振時の、図 2 (b)では Q スイッチ発振時の、励起光の出力エネルギーに対応した発振光の出力エネルギーの計測結果を示す。ビーム品質($M^2 \sim 2-3$)やパルス幅(600~800 ps)等を含めたこれらのデータは、CMOS カメラ、フォトダイオード等を用い初学者でも容易に評価できる。実際の体験状況など、詳細については当日報告する。

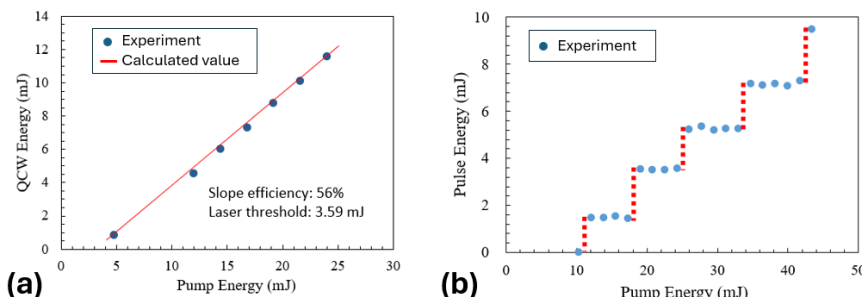


図 2: MCL のフリーラン発振時(a)及び Q スイッチ発振時(b)の出力エネルギー評価

4. まとめ

MCL ワークショップでは、様々な条件下でのレーザー発振を体験できる。波長変換等の追加要素も検討を進めている。MCL を用いたビジネスモデルの創出と将来の光学研究者育成に寄与できると考える。

[1] Y. Sano et al., *Forces in Mechanics* **7**, 100080 (2022).

[2] H. H. Lim and T. Taira, *ASSL Laser Congress 2023, Technical Digest Series*, paper AW3A.3 (2023)

[3] T. Taira et al., *US Patent US9887511B2* (2017).

[4] A. E. Siegman "Lasers", p.2 (1986)

[5] V. Yahia, T. Taira, *Opt. Exp.* **26**(7), 8609-8618 (2018).

工業科教育職員免許状取得のための科目「職業指導」

Practices on a Class "Vocational Guidance" Required to Obtain a Teaching License for Industry Course in High School

福井大工¹ ○葛生 伸¹

Univ. of Fukui¹, °Nobu Kuzuu¹

E-mail: kuzuu@u-fukui.ac.jp

高等学校工業科（工業高校）の教育職員免許状（教員免許状）の取得には特例措置がある。日本国憲法，体育，外国語コミュニケーション，情報機器の操作に関する科目の単位に加えて「職業指導」と専門分野の必要単位数を満たせば「教育実習」を含む教職科目の単位を取得しなくてもよい。教育実習なしに教員免許状を所得できる唯一の教科である。工業科は工業高校の教員のなり手不足を背景に1961年から適用されている。そのため，一旦社会に出た工学部卒業者が科目等履修生で「職業指導」の単位を取得して，教員になる

道も開かれている。現在でも，工業高校の教員のなり手が少ない。その一方で，工業高校への求人はかなり多く2022年度では20倍あまりである¹⁾。2023年度から教職科目としての「職業指導」を担当することになり，今年度で2年目である。受講者はいずれも3名と少ない。しかも，教職志望者は一人もいない状況である。

授業内容を図1に示す。職業教育，進路指導，キャリア教育など歴史，高校生の就職活動・就職状況，卒業後のキャリアアップなどについて学習する。さらに，社会にでてからの工業高校卒業者の職務内容などにも触れている。受講者は工業高校の教員にならなくても，企業内で高校卒業者と仕事をする機会を持つ可能性は多い。そこで，実際に企業で工業高校卒業者と仕事をした自分自身の体験も話している。さらに，自分自身の将来のキャリアや躰いた時の生き方などについてもふれている。

受講者は教育実習や教職専門科目，教科教育法などの授業を受講しないで教員免許状を取得する。そこで，本来の職業指導の内容に加えて，教員免許状取得の要件，学習指導要領，授業の企画と学習指導案，特別活動などにもふれている。

以上の内容は，工学部学生のキャリア教育としても有益な内容になっている。

1) 全国工業高等学校校長協会「卒業者に関わる状況調査」（令和4年度卒業者）

1. 工業科免許状取得と職業指導の目的
2. 専門高校の歴史と現状・課題
3. 社会の変遷と職業・学歴分布の変遷
4. 職業教育，進路指導，キャリア教育
5. 工業科の進路状況と進路指導・就職支援の現状
6. 高校生採用のルール、求人票の見方、履歴書の書き方、面接への対応と留意点
7. 高校生および若者の問題
8. 能力主義と成果主義
9. 我が国と諸外国の職業教育
10. 職業適性検査の理論と分析
11. 学習指導要領
12. 授業の企画と学習指導案
13. 安全指導，倫理教育の留意点
14. 特別活動
15. まとめ，進路指導の今後の課題

図1. 授業の概要.

光速度不変と走行電子の質量増加理論の破綻の考察

Consideration light velocity constant and running electron mass theory bankruptcy

ダビンチ研 ○土田成能
Davinci Lab ○Sigeyosi Tuchida
E-mail: davincimitsumori@gmail.com

1. 光速度不変原理の破綻

慣性座標系において、光の波動の伝搬と、速度 c 質量のゼロの粒子、すなわち光子の走行を、Michelson-Morley の光の干渉実験に則し適用すると

$$\frac{2lc + c(vt_1 - vt_2) - \frac{v^2}{c}\{2l + (vt_1 - vt_2)\}}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (1)$$

を得る。この数式は、A. Einstein の「光速度不変」原理の破綻の数学的証明である。

2. 走行電子の質量増加理論の破綻

「光速度可変」論から、物質の運動を記述する慣性座標系と、電磁空間を光が波動とし伝搬する状態の、慣性座標系上での記述は、ローレンツ変換を通して結ばれる。

$$\sqrt{1 - (v/c)^2} = \sin\theta \quad (2)$$

ローレンツ変換は電磁空間の原理の一つである。これを JJ トムソンの質量分析に適用すると

$$\frac{eVx_1(x_1 + 2x_2)}{2mdv_x^2} \cdot \sqrt{1 - (v/c)^2} \quad (3)$$

となる。Einstein の相対性理論においては

$$\frac{eVx_1(x_1 + 2x_2)}{2\frac{m}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}dv_x^2} \quad (4)$$

両式は数学的に同値である。

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (5)$$

よって、走行すると質量が増加するとする Einstein の相対性理論は物理上の誤りとなる。

2. 考察

走行する荷電粒子の周波数はローレンツ変換を受けるならば、プランクの量子論はそのまま使える。

1 応用物理学一般 | 一般セッション(口頭講演): 1.3 新技術・複合新領域

[17a-C43-1~8] 1.3 新技術・複合新領域

[17a-C43-1]

マテリアルキュレーション®支援システムの利用tips

○吉武 道子¹、長田 貴弘¹ (1.物材機構)

[17a-C43-2]

金属有機構造体とカーボンナノチューブ複合体のカーボン界面制御によるCO₂センシングの最適化

○田中 直樹^{1,2}、田中 航慎¹、稲葉 優文³、藤ヶ谷 剛彦^{1,2,4} (1.九大院工、2.九大WPI-I2CNER、3.九大シス情、4.九大CMS)

[17a-C43-3]

カーボンナノチューブを用いた湿式表面処理により形成される被膜の耐霜特性評価

○大木 達也¹、田中 正昭¹、岩本 智晴¹、時 振玉¹、金 相宰²、田島 秀春² (1.ハイアールアジアR&D、2.山一ハガネ)

[17a-C43-4]

A Meta Surface Material Based Patch Antenna For Future Wireless Sensor Space Craft 5G Systems

○Orentapalli vanitharani¹ (1.Vellore Institute of Technology Andhra Pradesh University)

[17a-C43-5]

サーマルプローブリソグラフィを用いたナノスケール精度描画

○青木 画奈¹、赤羽 浩一¹ (1.情報通信研究機構)

[17a-C43-6]

高密度・高均一量子ドット構造の低温20Kにおける蛍光評価

○(M2)伊佐早 祐大¹、板谷 太郎²、菅谷 武芳²、前田 譲治¹、天野 建² (1.東理大 創域理工、2.産総研)

[17a-C43-7]

薄膜化レーザのIL特性の温度依存性についての研究

○(M1)谷口 清人¹、板谷 太郎²、前田 譲治¹、天野 建² (1.東理大理工、2.産総研)

[17a-C43-8]

3次元光配線に向けたマイクロレンズ構造の試作

○(M1)菊地 奎人^{1,2}、板谷 太郎²、天野 健²、岡野 好伸¹ (1.東京都市総合理工、2.産総研)

マテリアルキュレーション®支援システムの利用 tips

Tips for using Materials Curation support system

物材機構 ○吉武 道子, 長田 貴弘

NIMS ○Michiko Yoshitake, Takahiro Nagata

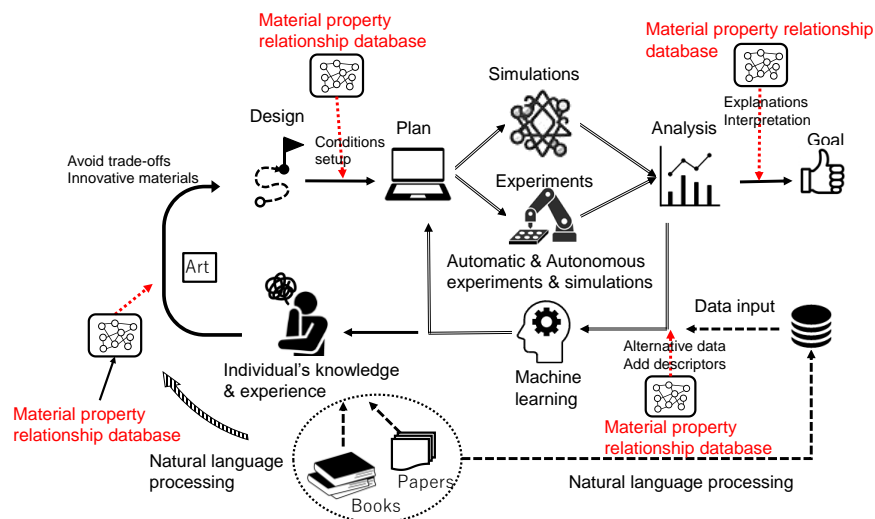
E-mail: yoshitake.michiko@nims.go.jp

我々は、材料科学の教科書・専門書に記述されている科学原理に基づいた物性間の関係性を抽出して、異なる物性間の関係をグラフ（ネットワーク図）の形で表示・探索できるシステムを考案し、企業と共同研究によりプロトタイプシステムを開発してきた¹⁾。このシステムは、下の図のように、そもそもの開発テーマ設定のみならず、自動・自律実験の様々な場面においても有用と考えており、近々、富士通株式会社より商用サービスの提供が開始される予定である。今回は、このシステム利用に関する2つの tips について報告する。

まず、このシステムの利用の際は物性名を入力する必要があるが、科学原理に基づく以上、「物性名」は、直接物質を目の前にしなくても数値のような形で客観的に性質が比較できるものと定義している。研究開発の現場では往々にして、「濡れ性」「密着性」「腐食性」「耐熱性」のように、概念としては理解できるが“材料 A と材料 B のどちらが〇〇性が高いか”という質問に客観的に証拠を示して答えることができないような用語が用いられることも多い。そこで、これらの「物性名」でない用語を「物性名」に落とし込むためのユーザーインターフェースが必要である。そのようなユーザーインターフェース用の、物性名でない用語を物性名と関連付ける辞書の ChatGPT による作成例を報告する。

2 つ目は、システムを材料の用途開発へ利用するプロシージャである。ある用途に利用している材料 X を別の用途に利用できないかを検討する方法である。材料 X が〇〇用途に利用されている理由が良好な物性 A である場合、システムにおいて物性 A とつながっている別の物性として P, Q を見つけ、この P, Q の良好な物性を理由として利用されている用途△, □を調査することで、材料 X が用途△, □にも利用できる可能性がある。

- 1) M. Yoshitake,
Materials 2021, 14,
6946.



金属有機構造体とカーボンナノチューブ複合体の カーボン界面制御による CO₂ センシングの最適化

Optimization of CO₂ sensing by controlling the carbon interface between metal-organic frameworks and carbon nanotube composites

九大院工¹, WPI-I²CNER², 九大シス情³, 九大CMS⁴

○田中 直樹^{1,2}, 田中 航慎¹, 稲葉 優文³, 藤ヶ谷 剛彦^{1,2,4}

Grad. Sch. Eng., Kyushu Univ.¹, WPI-I²CNER, Kyushu Univ.², ISEE, Kyushu Univ.³,

Center for Molecular Systems (CMS), Kyushu University⁴

○Naoki Tanaka^{1,2}, Koshin Tanaka¹, Masafumi Inaba³, Tsuyohiko Fujigaya^{1,2,4}

E-mail: tanaka.naoki.468@m.kyushu-u.ac.jp

1. 緒言

カーボンナノチューブ (CNT) とゼオライト系イミダゾレート構造体 (ZIF-8) の複合体 (CNT/ZIF-8) は、CNT の分子吸着応答性と ZIF-8 の CO₂ 吸着特性を兼ね備えた複合材料であり、CO₂ 吸着による抵抗変化を利用した CO₂ 検出が可能である[1]。この CO₂ 検出能は、CNT/ZIF-8 複合体の①ZIF-8 の結晶サイズと、②CNT のキャリア密度が CO₂ 吸着に大きく影響すると予想されるが、これまで①と②を制御した CNT/ZIF-8 複合体の作製手法はなく、その CO₂ 吸着特性は明らかにされていない。本研究では、ZIF-8 前駆体の濃度制御と、ポリマー被覆による CNT のドーピングにより、①と②を制御した CNT/ZIF-8 複合体の作製に成功し、その CO₂ 吸着応答速度について評価したので報告する。

2. 実験

ポリベンゾイミダゾール (PBI) により分散した単層 CNT (SWCNT) に対して、硝酸亜鉛六水和物 (Zn(NO₃)₂•6H₂O) と 2-メチルイミダゾール (2-MeIM) を滴下することで PBI-SWCNT/ZIF-8 を得た。前駆体濃度は、低濃度 (2-MeIM: Zn(NO₃)₂•6H₂O = 2:1) と高濃度 (2-MeIM: Zn(NO₃)₂•6H₂O = 8:4) の 2 種類を用いて、PBI-SWCNT/ZIF-8_low と PBI-SWCNT/ZIF-8_high を作製した。同様にポリマーをポリビニルピロリドン (PVP) に変更し、PVP-SWCNT/ZIF-8_low と PVP-SWCNT/ZIF-8_high を作製した。全てのサンプルにおいて電流-電圧特性は直線であり、抵抗体とみなすことができた。容積 300 cm³ のステンレス製チャンバにサンプルを導入し、電圧 1 V を印加したときの抵抗を記録した。基板を N₂ 中で初期化 (150 °C 加熱 1 時間) し、35 °C にて CO₂ 100% に置換した。総流量は 200 sccm で固定した。ガス応答は抵抗変化分を初期値で割った値 ($\Delta R/R_0$) と定義した。

3. 結果および考察

走査型電子顕微鏡観察から、各複合体の ZIF-8 の結晶サイズは、低濃度では約 15~25 nm、高濃度では約 25~40 nm であり、濃度制御によりサイズ制御できることが明らかとなった。また熱電特性評価により、PBI と PVP で被覆された複合体は、それぞれ p 型と n 型を示した。CO₂ 吸着による抵抗変化測定から時定数を算出したところ、PBI-SWCNT/ZIF-8_low は 75 s と最も高く、結晶サイズの微小化と p 型特性によって CO₂ 応答速度が向上することが明らかになった (Fig. 1)。これは結晶サイズが小さいほど、ZIF-8 内への CO₂ 拡散が早く、結果的に CO₂ と CNT との電子授受が早く行われたためと考えられる。また CO₂ が電子供与体と振る舞うことで、n 型 CNT より p 型 CNT への電子供与の効果が反映した効果も含まれると考えている。

参考文献 [1] S. Kim et al., *ACS Sens.* **2022**, 7, 3846.

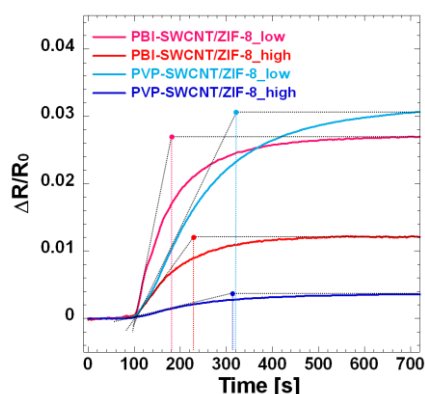


Fig. 1. Dynamic response signals of PBI-SWCNT/ZIF-8_low (pink), PBI-SWCNT/ZIF-8_high (red) and PVP-SWCNT/ZIF-8_low (pale blue) PVP-SWCNT/ZIF-8_high (blue) for CO₂ at a total flow rate of 200 sccm.

カーボンナノチューブを用いた湿式表面処理により形成される被膜の耐霜特性評価

Evaluation of In-Stage Characteristics of Films Formed by Wet Surface Treatment Using Carbon Nanotubes

Haier Asia R&D Co., Ltd.¹, Yamaichi Special Steel Co., Ltd.², ○Tatsuya OKI¹, Masaaki TANAKA¹,
Tomoharu IWAMOTO¹, Shingyoku SHI¹, Sangjae Kim², Hideharu Tajima²
E-mail: oki.tatsuya@haier.co.jp

【背景と目的】冷凍空調機器の蒸発器表面に生じる着霜は、熱抵抗と通風抵抗の増大により、冷凍能力の低下をもたらす。したがって、着霜の抑制（耐霜特性）が各種機器の省電力化における重要な課題となっている。本研究では、金属表面にカーボンナノチューブ（CNT）を添加しながらナノレベルの突起を形成する湿式表面処理（CAST）[1]を施した熱交換器の耐霜特性を評価し、冷凍空調機器の消費電力削減の可能性を確認する。

【実験】アルミ製フィンに CAST を施したクロスフィンチューブ型熱交換器と、CAST 未実施の同熱交換器を作製し、恒温恒湿槽内で、双方における着霜の経時変化と、熱交換性能を比較した。（恒温恒湿槽内：15℃, RH58%, 冷媒：エタノール, 冷媒温度設定：-25℃, 冷媒流量：0.65L /min）

【結果】図 1 より冷媒投入後の熱交換器の冷媒出入口温度差に明確な差が生じた。これは CAST により熱交換性能が向上することを示唆している。また、図 2 に示すように、冷媒投入後の CAST 未実施の熱交換器では、時間経過により霜閉塞が始まり、図 1 に示す冷媒出入口温度差が小さくなる傾向が見られた。一方、CAST を施した熱交換器への着霜量はわずかであり、冷媒出入口温度差もほぼ初期と同じ値をキープしている。これらの現象は冷凍空調機器の省電力化の可能性を示すものであり、今後実機にて検証を進めていく。

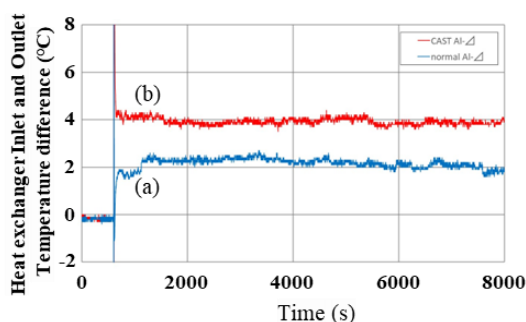


Figure1. Frost-resistant comparison.

(a) Untreated Al fin (b) CAST treated Al fin

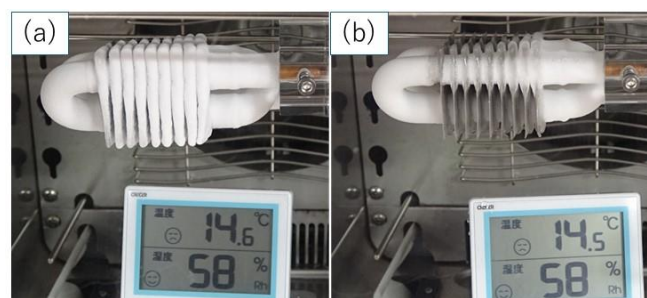


Figure2. Photograph of Heat exchanger.

(a) Untreated Al fin (b) CAST treated Al fin

参考文献

[1] S. Kim, E. Matsuyama, H. Tajima, R. Miyake, T. Maruyama. (2022) J. of Surface Engineered Materials and Advanced Technology Vol.12 No.1, 1-13.

A META SURFACE MATERIAL BASED PATCH ANTENNA FOR FUTURE WIRELESS SENSOR SPACE CRAFT 5G SYSTEMS

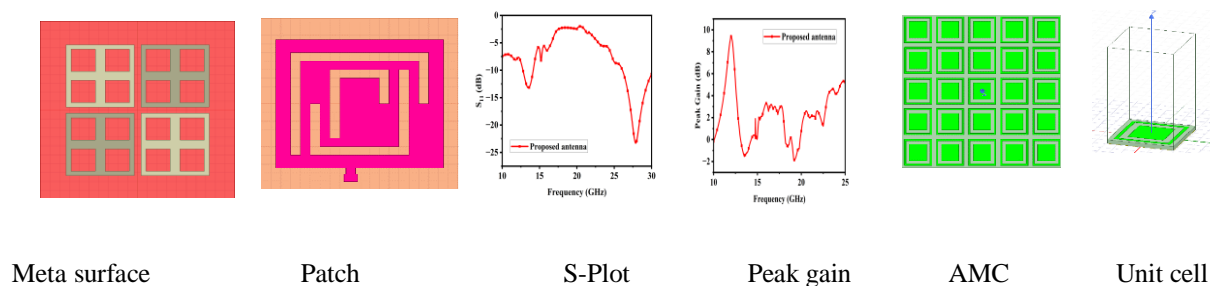
Vanitha Rani Rentapalli.¹ Bappaditya Roy²VIT AP University, Amaravathi, Andhra Pradesh, India.

rentapalli@gmail.com, Bappaditya.roy@vitap.ac.in

Abstract

In recent years, as per the modern technology and development, wireless sensor-based spacecraft design techniques are using to detect the geometric parameters of humans have become a future of innovative research. The meta surface is a two-dimensional periodic structure having doped semiconductor, metallic, and dielectric titanium as materials that are intended to interact with electromagnetic waves. The change in material decomposition can significantly reduce the radiation losses of materials, possibly enlightening the sensor sensitivity. Intuitively, the meta surface materials are suppressed by electric and magnetic dipoles with natural materials. Moreover, as 2D metamaterials, the meta surface can deteriorate the electric and magnetic dipoles to enhance the performance of the radiator. Here, we propose a dielectric-structured meta surface as a high refractive index sensor with good transparency and chemical stability proficient of qualitative detection of wireless sensor systems. In this paper, we are going to present a dielectric FR4 epoxy structure-based meta surface patch antenna. It is highlighted that the studied antenna has a maximum reflection coefficient of -25 dB, at the resonating frequency 20GHz and a specified bandwidth at two bands 13GHz, 28GHz. Our results demonstrate that the meta surface has a promising ultra-sensitive qualitative exposure in chemical and temperature sensing, with a low profile and an antenna size of $1.33\lambda_0 \times 1.33\lambda_0 \times 0.106\lambda_0$, which were measured and fabricated.

Results and Discussion



The meta surface antenna is designed with HFSS software, the most important parameters that highlight the sensing qualities of meta surface are S parameter plot, gain plot, peak gain, AMC and unit cell. The radiating parameters explains how well the antenna radiates electromagnetic energy in a particular direction without any radiation loss. The performance of the meta surface antenna for the integrated 5G technology for the wireless sensor space craft design techniques have been shown to know the performance of the meta surface materials to detect the geometric parameters of a scientific featured human body. By changing the material composition, the properties of the system would change, which could easily enhance the 5G system performance required for next generation of space and wireless sensor communication technologies.

サーマルプローブリソグラフィを用いたナノスケール精度描画 Nanoscale Precision Pattern Drawing Using Thermal Scanning Probe Lithography

情報通信研究機構 ○青木画奈、赤羽浩一

NICT, ○Kanna Aoki, Kouichi Akahane

E-mail: kanna.aoki@nict.go.jp

【背景と研究目的】電子線描画法はナノスケールパターンを形成する王道技術として、基礎研究の段階では直接描画で、大量生産の段階ではフォトマスク作製に用いられている。数 nm レベルに絞った電子ビームをレジスト塗布面に照射できるように、描画環境を高真空に保つ必要があるため、装置が大掛かりで、基板の出し入れの際に真空度の調節に時間を要するのが難点である。本報告では、電子線描画法と遜色ない微細度・位置合わせ精度を実現しつつ、大気中で操作可能なサーマルプローブリソグラフィ法 (thermal scanning probe lithography, t-SPL) で実際に到達可能な微細度・位置合わせ精度を検証した。

【実施方法】ポリフタルアルデヒド (Polyphthalaldehyde, PPA) は 150℃ 以上に加熱されるとモノマーに分解し昇華する。この反応は吸熱反応で、加熱された箇所のみで分解反応が進むため、レジストとして用いた際にナノスケールの描画が可能となる。表面にスパッタ法で SiO₂ 層を形成したシリコン基板上に PPA 溶液 (3wt%, 溶媒 anysole) スピンコートし、厚さ 70 nm の層を形成した。

使用した t-SPL 装置 (Nano Frazor Scholar, Heidelberg Instruments) は原子間力顕微鏡に類似した動作に加え、プローブ先端温度を室温～1,100℃の範囲で制御可能である。走査ステップ幅、侵入深さ、プローブ温度のパラメータを制御し、最小 line & space が得られる条件を探索した。また、パターンの位置合わせ精度について検証した。

【結果】プローブがレジスト層を貫通し、下の基板表面と接触すると先端を破損してしまうため、通常、t-SPL 法ではレジスト層を貫通させず、残留レジストはドライエッチングで除去してから、次のエッチングやリフトオフ等の工程に進む。本報告でも、レジスト層は貫通させず、深さ 10 nm の line & space パターンが形成されると同時に space 部が陥没していない状態が達成された条件を最適とした。図 1, No.3 の条件下で x 方向 y 方向共に良好な line & space パターンを形成でき、最小 half pitch 50 nm を得た。また副尺パターンの位置合わせ描画の結果、x,y 方向の位置合わせ精度、それぞれ 22 nm、31 nm 以内が得られた。これらは電子線描画法と同程度の性能である。

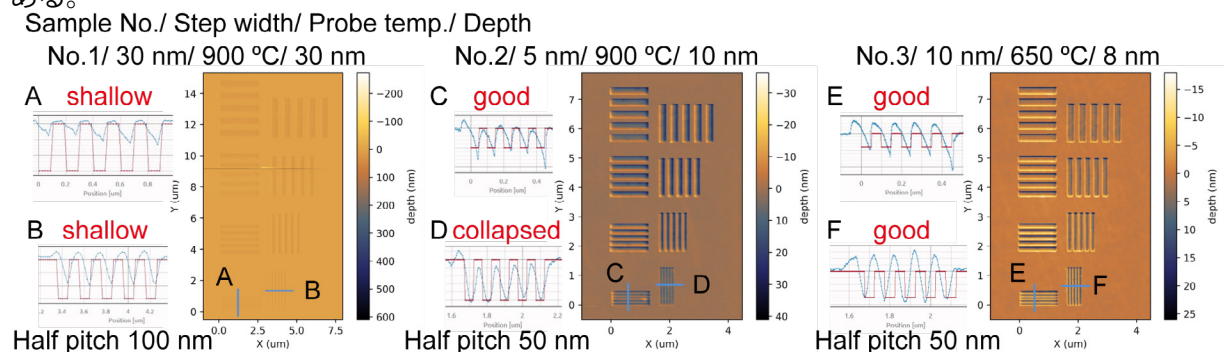


Fig. 1 Conditions for obtaining minimum line & width.

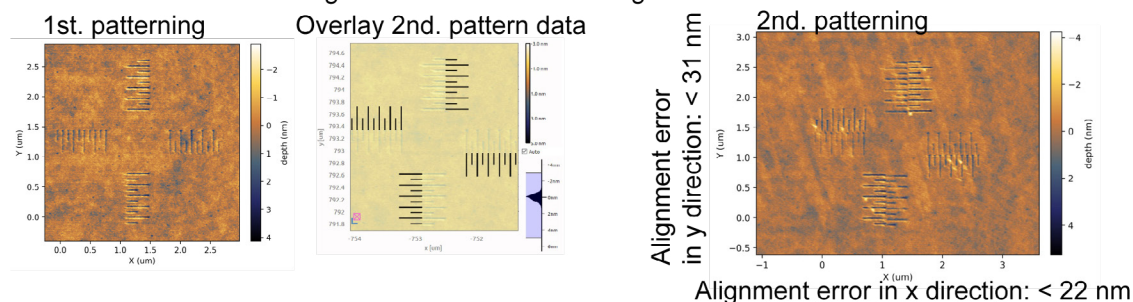


Fig. 2 Pattern alignment accuracy

高密度・高均一量子ドット構造の低温 20K における蛍光評価

Evaluation of fluorescence for dense and uniform Quantum Dots structures

東京理科大学¹, 産業技術総合研究所², (M)伊佐早 祐大¹,
板谷 太郎², 菅谷 武芳², 前田 譲治¹, 天野 建²

Tokyo Univ. of Science¹, AIST², Y. Isahaya¹, T. Itatani², T. Sugaya², J. Maeda¹ and T.
Amano²

E-mail : 7323508@ed.tus.ac.jp

【はじめに】 データセンターで用いられている半導体レーザは、実装基板の外部に設置されるブラガブル方式が主流^[1]となっている。光実装の更なる小型化・省電力化・低コスト化に向けて、半導体レーザの実装基板上への搭載が期待されているが、光部品の信頼性が十分でないことが集積化の障害となっている。我々は、GaAs 基板上に高密度・高均一な InAs 系量子ドットを用いた光デバイスの研究開発^[2]を行ってきた。今回、試作した量子ドット構造を、低温(20K)で蛍光評価を行った。

【実験】 本研究の量子ドット形成プロセスでは、InAs 量子ドットの成長に As₂を用いることで、寸法揺らぎが小さく均一で高密度な量子ドットを形成した。評価サンプルは、量子ドットの層間距離を 3nm とし、8 層、2 周期、合計 16 層の積層構造を用いた。サンプル構造を Fig. 1 に示す。また、サンプルの 20K における蛍光スペクトルを Fig.2 に示す。1200nm~1350nm の範囲で幅広い蛍光スペクトルを確認した。

【まとめ】 高密度・高均一な量子ドット構造を試作し、低温 (20 K) で蛍光スペクトルを評価した。量子ドットの不均一広がり起因するブロードなスペクトルが観察された。室温での発振波長範囲は、光実装に用いられる O バンド (1260nm~1350nm) に対応することを確認した。今後、光実装用の光源としての応用が期待される。

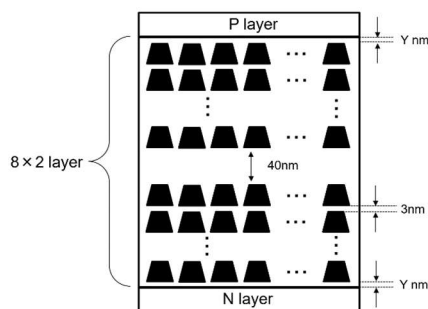


Fig.1 Structure of the sample

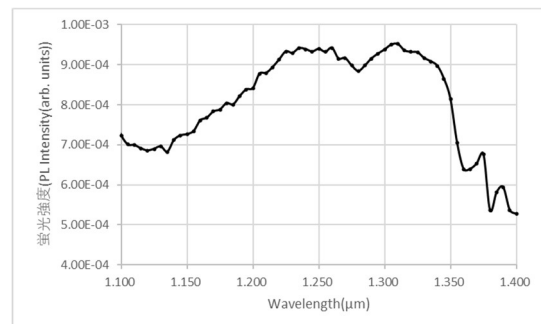


Fig.2 PL Spectrum for the sample at 20K

[1] 高井、「光伝送技術を知る (3)」 https://eetimes.itmedia.co.jp/ee/articles/1808/14/news004_3.html

[2] 天野他、「高密度高均一量子ドットを用いた量子ドット半導体レーザ」 信学技報 105 (455, 45(2005).

薄膜化レーザの IL 評価時の温度依存性の評価

Assessing Temperature Distribution for laser Diodes at IL Characterization

東京理科大学¹, 産総研² (M)谷口 清人¹, 板谷 太郎², 前田 譲治¹, 天野 建²Tokyo University of Science¹, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology², Kiyoto Taniguchi¹, Taro Itatani², Joji Maeda¹, Takeru Amano²

E-mail:7324537@ed.tus.ac.jp

【はじめに】実装基板上に電子部品と光部品を集積する Co-Packaged Optics (CPO) では、光部品の信頼性が電子部品の信頼性と比較して 2 桁低いことが課題となっている^[1]。特に、光源の半導体レーザは、発熱素子であることから集積化に必要な信頼性確保が待たれている。CPO に組み込まれる光源の信頼性を向上するには、動作温度を下げることで有効な手段と認識^[2]されている。今回我々は、薄膜化した半導体レーザの IL 測定時に、素子および周辺部の温度分布の評価を行った。

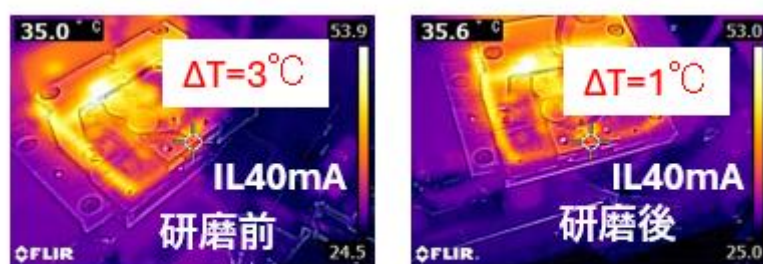


Fig. 1 Temperature Increase for the Laser Diodes

【実験】薄膜化した半導体レーザ (UNION OPTRONICS CORP 社製、型式: U-CP-1305013p) は、厚さ $110\mu\text{m}$ であるが、CMP (化学機械研磨) により $37\mu\text{m}$ までの薄膜化を行った。ステージ温度を 60°C にして、IL 特性 (電流最大値 40mA) の評価を行った。結果を Fig. 1 に示す。薄膜化前の半導体レーザの温度上昇は 3°C であるのに対し、薄膜化した半導体レーザの温度上昇は 1°C と測定された。

【まとめ】半導体レーザの厚さを $110\mu\text{m}$ から $37\mu\text{m}$ まで薄膜化を行い、IL 特性時の熱分布の測定を行った。半導体レーザの温度上昇は、約 3 分の 1 に低減され、薄膜化が温度上昇の低減に有効なことが示された。

[1] 高井厚志、「光トランシーバーの Form Factor の新動向 (3)」EE times, 2022/11/16.

[2] 辻他、応用物理学会秋季学術講演会、20a-C401-12 (2023).

3次元光配線に向けたマイクロレンズ構造の試作

Fabrication of Micro-lens for 3D optical connection

東京都市大学総合理工¹, 産業技術総合研究所² [○](M1) 菊地 奎人¹,

板谷 太郎², 天野 健², 岡野 好伸¹

Tokyo City Univ.¹, AIST.², [○]K. Kikuchi¹, Y. Okano¹, T. Itatani², T. Amano²

E-mail: g2481415@tcu.ac.jp

【はじめに】電気素子と光素子を同一基板上に実装する光実装分野では、集積回路からのシリコン系光導波路と、光ファイバーとの接続のためのポリマー光導波路を3次元で結合する必要がある。しかし、シリコン系光導波路とポリマー光導波路の寸法が1桁違うことや、設置する高さが異なることから、直接的な結合は困難である。我々は、これまで光硬化法を用いてマイクロレンズを3次元造形する方法で、研究開発^[1]を推進してきた。今回我々は、シリコン系光導波路に近接して設置するマイクロレンズを、半導体の異方性エッチングを利用して形成したので報告する。

【実験】マイクロレンズをシリコン系光導波路に近接して形成するために、マイクロレンズのパターン形成では、CRESTEC社製の型式：CABL-200の電子線描画装置を用いた。電子線描画レジストとして、ポジ型のZEP7000を用いた。ポジ型であることから、電子線照射部が円形に溶解してパターンを形成する。試作パターンの直径は、 $40\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$ である。このパターンを基に、シリコン基板に凹面形状を掘り込むが、掘り込み量が $10\mu\text{m}$ 以上となるため、エッチング耐性の高いマスク材料が必要となる。これまでにALD法で形成した Al_2O_3 膜でエッチング選択比20以上が得られている^[2]ことから、電子線によるパターンを Al_2O_3 に転写して、そのパターンをSiに転写してエッチングを行った。エッチングでは、SAMCO社製の型式：NL200を用い、 Al_2O_3 を CHF_3 ガスでエッチング、Siを SF_6 ガスでエッチングした。直径 $40\mu\text{m}$ のミラー構造の観察結果をFig.1に示す。左側が顕微鏡観察像、中央が立体観察像、右側が中央断面プロファイルである。直径 $40\mu\text{m}$ の底部で高さが $2.4\mu\text{m}$ の凹形状が形成され、曲率半径は $170\mu\text{m}$ である。直径 $20\mu\text{m}$ の場合の曲率半径は $55\mu\text{m}$ であり、直径 $10\mu\text{m}$ の場合の曲率半径は $50\mu\text{m}$ である。

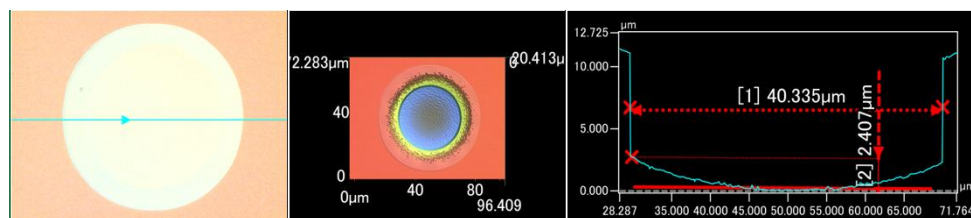


Fig.1 Etched curve profile for the micro-mirror structure

【まとめ】電子線描法と異方性エッチングを用いることで、マイクロレンズ構造を試作した。今後は、更なる曲率の増大を図り、シリコン系光導波路との集積プロセスへの展開を図る。

[1] A. Noriki et. al., "Mirror-based silicon-photonics vertical I/O with coupling efficiency enhancement for standard single-mode fiber," J. Lightwave Technol., 38, 3147-3155 (2020).

[2] 林他, 「 Al_2O_3 をエッチングマスクとして用いたシリコン導波路プロセスの検討」 応用物理学会学術講演会 24p-D316-4(2022).

1 応用物理学一般 | 一般セッション(口頭講演): 1.4 エネルギー変換・貯蔵・資源・環境

[18p-C43-1~17] 1.4 エネルギー変換・貯蔵・資源・環境

[18p-C43-1]

マイクロ波加熱により生成されるセルロース由来水素ガスのサイクル依存性

○仲川 晃平¹、Abdi Karya I Putu²、Muhammad Al Jalali²、影山 陽大²、西海 豊彦²、西村 文宏³、浅野 貴行²、光藤 誠太郎² (1.福井大遠赤セ、2.福井大工、3.福井大産学官)

[18p-C43-2]

水素生成固体高分子型水電解セルの効率と安定性に関する評価

○(M2)秋田 いつか^{1,2}、藤井 克司²、小川 貴代²、和田 智之²、小椋 厚志^{1,3} (1.明大理工、2.理研RAP、3.明大MREL)

[18p-C43-3]

電気化学的CO₂還元中使用される陰イオン交換膜における電気泳動に付随する水輸送の評価○(M1)井上 堅太郎¹、小池 一輝^{1,2}、村上 武晴²、森下 圭²、小川 貴代²、藤井 克司²、和田 智之²、小椋 厚志^{1,3} (1.明治大学理工、2.理研光量子、3.明大MREL)

[18p-C43-4]

銅電極を用いた電気化学的 CO₂ 還元の長期運転における還元生成物の変化○(D)小池 一輝^{1,2}、村上 武晴²、井上 堅太郎¹、小川 貴代²、藤井 克司²、和田 智之²、小椋 厚志^{1,3} (1. 明治大学理工、2.理研光量子、3.明大MREL)

[18p-C43-5]

ゼロギャップ(MEA)型セルを用いたCO₂還元反応におけるアノライト濃度とフラッディングの関係○森下 圭¹、村上 武晴¹、松本 健¹、小川 貴代¹、藤井 克司¹、和田 智之¹ (1.理化学研究所)

[18p-C43-6]

CO₂還元リアクターのフラッディングにおけるアニオン交換膜の役割○村上 武晴¹、森下 圭¹、小池 一輝^{1,2}、井上 堅太郎^{1,2}、松本 健¹、小川 貴代¹、藤井 克司¹、小椋 厚志^{2,3}、和田 智之¹ (1.理研光量子、2.明治大学、3.明大MREL)

[18p-C43-7]

デュアルアルカリ-金属-イオン共存する正極材料の開発及びナトリウムイオン電池への応用

○馬 廷麗¹、孫 嘉澤¹ (1.九工大)

[18p-C43-8]

Mg二次電池正極材料Mg_{1+x}V_{2-x-y}Mn_yO₄の第一原理計算を用いた放電後の安定構造の検討および置換原子の影響の解明○伊美 龍志¹、石橋 千晶¹、北村 尚人¹、井手本 康¹ (1.東理大創域理工)

[18p-C43-9]

波長分散型軟X線吸収分光法による酸素発生触媒電極と電解液界面近傍のリアルタイム・オペランド観察

○阪田 薫穂¹、雨宮 健太¹ (1.KEK 物構研)

[18p-C43-10]

雰囲気遮断システム用いた硫化物系全固体電池の解析ソリューション

○仲野 靖孝¹、五十嵐 啓介¹、伊藤 勝治¹、稲木 由紀¹、相蘇 亨¹、浅倉 浩之¹、佐藤 岳志¹ (1.(株)日立ハイテク)

[18p-C43-11]

金属・有機複合太陽電池の新規発電メカニズムの考察

○松本 渚¹、加藤 岳仁^{2,3} (1.MAS、2.小山高専、3.NPO法人エナジーエデュケーション)

[18p-C43-12]

熱音響用リニア発電機の原理検証

○藤原 圭佑¹、木村 英樹¹、佐川 耕平¹ (1.東海大院工)

[18p-C43-13]

福島汚染土壌中の放射能低減を特別処理水で実施した結果、大きなエネルギーを加えずに、放射能セシウムを安定なバリウムへ変化させ、放射能減少を達成した。また太平洋の海水に100 MPa以上の圧力を加え、元素変換を確認した。理論的に水素結合を切った水中の仮想粒子である陽子と電子のペアを考え、2粒子の核スピンの焦点を当て、粒子の弱いエネルギーによって元素変換が起き、タンク中のトリチウム減少計画を提案する。

○(PC)杉原 淳¹、Sugihara Sunao² (1.Shonan Institute of Tech.、2.Gen. Assoc. Inc. Green Earth Again)

[18p-C43-14]

ファイバー導入による高分子ゲルの熱運動抑制とイオン吸着特性に与える影響

○山形 直寛¹、河野 真也¹、日高 芳樹¹、石田 謙司¹、岡部 弘高¹ (1.九大院工)

[18p-C43-15]

空中放電を用いたマイクロ熱エンジンの検討

○松尾 一馬¹、杉岡 秀行¹ (1.信州大工)

[18p-C43-16]

水中放電による回転デバイスの検討

○松尾 一馬¹、住田 大輔¹、杉岡 秀行¹ (1.信州大工)

[18p-C43-17]

オーバーハング構造型流体輸送デバイスの検討

○杉岡 秀行¹、宮内 惇¹、大城 敦史¹ (1.信州大工)

マイクロ波加熱により生成される セルロース由来水素ガスのサイクル依存性

Evaluation of Cycle Dependence of Cellulose-Derived Hydrogen

Produced by Microwave Heating

福井大遠赤セ¹, 福井大工², 福井大産学官³ °仲川 晃平¹, I Putu Abdi Karya², Al Jalali

Muhammad², 影山 陽大², 西海 豊彦², 西村 文宏³, 浅野 貴行², 光藤 誠太郎²

FIR, Univ. of Fukui¹, Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui², HISAC., Univ. of Fukui³,

°Kohei Nakagawa¹, I Putu Abdi Karya², Al Jalali Muhammad², Yota Kageyama², Toyohiko

Nishiumi², Fumihiko Nishimura³, Takayuki Asano², Seitaro Mitsudo²

E-mail: knaka@u-fukui.ac.jp

2050 年のカーボンニュートラル実現に向け、化石燃料に替わるエネルギー源である水素ガスの活用が急速に進むなかで、水素インフラの構築のみならず、水素ガスの地産地消による循環型社会に向けた技術開発が求められている。そこで注目されているのが、現在世界で排出される廃棄物の70%以上を占めるバイオマスやプラスチックを活用したガス化による水素ガス生成である。近年ではマイクロ波加熱を用いたプラスチック、セルロース(バイオマスの主成分)のガス化においてより簡便に水素ガスが得られることが報告されており([1], [2])、安価かつ安定的なエネルギー供給を可能にすると期待されている。一方、高密度ポリエチレン(HDPE)でのマイクロ波加熱における先行研究では、加熱による分解を繰り返すことで急速に触媒が劣化し、水素ガスの生成量が低下してしまうことが問題点である。

そこで本研究では、これまで報告されてこなかったマイクロ波加熱を用いたセルロース由来水素ガスの生成におけるサイクル依存性について評価し、触媒劣化の要因について考察することを目的とした。評価指標として、分子量から計算できる試料の理想水素ガス量と、実際に得られた水素ガス量の比を、水素ガス転換率として見積もった。

図1は、セルロースにおける水素ガス転換率のサイクル依存性である。1サイクル目~40%だった転換率は2サイクル目以降ほぼ80%付近で一定となり、水素ガス発生量は低下しなかった。従って、マイクロ波加熱を用いたセルロース分解では、触媒の劣化を抑制し、より多くの水素ガスが得られることが明らかとなった。本講演では、より具体的な生成ガス分析結果の紹介並びに、触媒劣化の抑制原因に関する考察について報告する。

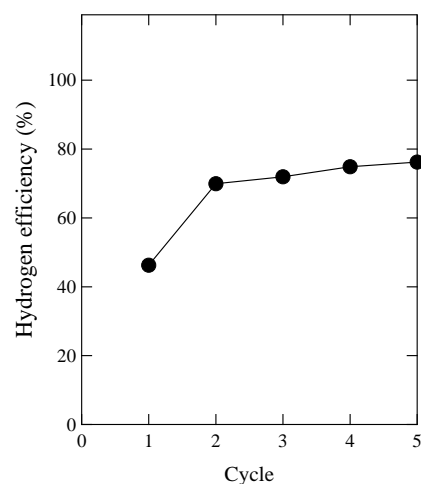


図1.セルロースにおける水素ガス変換率のサイクル依存性

[1] X. Jie, *et al.*, Nat. Catal., **3**, (2020) 902-912.

[2] 仲川ら 第84回応用物理学会秋季学術講演会 22p-A306-2 (2023).

水素生成固体高分子型水電解セルの効率と安定性に関する評価

Evaluation of Efficiency and Durability for Hydrogen Generation of Polymer Electrolyte Electrochemical Cell

明大理工¹, 理研 RAP², 明大 MREL³

○秋田 いつか¹, 藤井 克司², 小川 貴代²和田 智之², 小椋 厚志^{1,3}

Meiji Univ.¹, RIKEN Center of Advanced Photonics², MREL³

○Itsuka Akita¹, Katsushi Fujii², Takayo Ogawa²,

Satoshi Wada², and Atsushi Ogura^{1,3}

E-mail: ce231002@meiji.ac.jp

1. 序論

地球温暖化や資源の枯渇の観点から、再生可能エネルギーの必要性が高まっている。太陽光発電はクリーンなエネルギーであり、新たな電力源として注目されている。太陽光発電による電力は、天候によって発電量が不安定になることがある。近年、様々な電力貯蔵方法が提案されているが、その一つが電気分解によって発生する水素の貯蔵である。特に固体高分子型水電解セル (PEEC) は、アルカリや固体酸化物などの他の水素発生法に比べて、電流密度やガス純度が高く、応答速度が速いことから、実用的な水素発生法として期待されている。また、W スケールから kW スケールまでのシステムに柔軟に対応できるため、様々な規模の太陽光発電システムの電力貯蔵としても有効である。PEEC の効率・安定性の向上は、エネルギーシステムの性能を向上するための重要な課題である。PEEC の性能を最大限に引き出すためには、膜や触媒の状態変化を引き起こす活性化が必要だと考えられる。安定性については、セルの構造、動作温度、電圧・電流の印可条件など様々な条件下で議論がなされている。本研究では PEEC の性能と安定性について議論を行う。安定性の向上に関して、電流・電圧の印可条件や温度による安定性の変化を測定し、考察を行った。

2. 実験内容

本実験では田中貴金属製アモルファス IrO_2 をアノード触媒に、田中貴金属製 Pt/C をカソード触媒に用い、Nafion 115 をカチオン交換膜として図 1 に示す PEEC を作製した。電極面積は 5 cm^2 である。Nafion 膜にアノード触媒、カソード触媒をそれぞれスプレー塗布し触媒塗布膜 (CCM) を作製した。ガス拡散層として Pt コートされた Ti メッシュを用いた。PEEC の運転条件として、初期化操作を行った。初期化操作は 1 時間純水を流したのち、 10 mV/s で 0.2 V から 2.0 V まで掃引し、5 分間の 2 V 印可を行い、その後同じ掃引速度で 2.0 V から 0 V まで掃引し、開放電位状態で 20 時間放置する操作である。その後、室温で電流-電圧特性 (IV 特性) および電気化学インピーダンス法 (EIS) の測定を用い、安定性の評価について行った。その際、評価時の電圧や電流の印可条件を変更した。

3. 実験結果及び考察

同じ CCM 作製条件を用いて 0.8 A/cm^2 定電流印加時の電圧の時間変化 (図 2) と 2.0 V 定電圧時の電流の時間変化 (図 3) を示す。定電流印可時は電流印可から 5 時間程度はセル電圧が増加し続けたが、それ以降はセル電圧が減少する傾向にあった。EIS の結果では直列抵抗は変化せず、低周波側の抵抗値が減少していたことから、本評価により電極と固体高分子膜の間にかかる過電圧が減少していることを示す。一方、定電圧印可時は、電流密度が漸減する結果であった。しかし、定電圧実験測定後の IV 特性は定電圧実験測定前の IV 特性とほぼ同じであったため、この急峻な電流密度の減少は触媒の溶解や膜の損失などによる不可逆な要因ではなく、拡散などの可逆的な要因であることが考えられる。

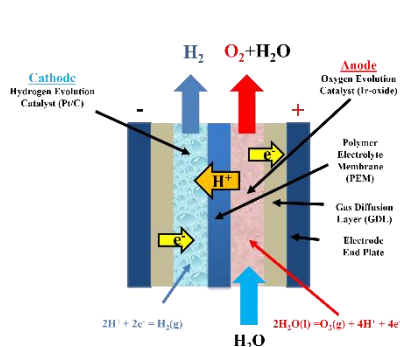


Fig. 1. PEEC の構造。

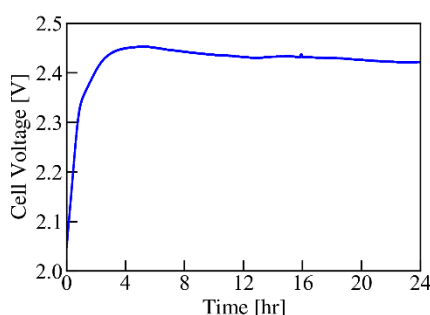


Fig. 2. 0.8 A/cm^2 定電流印加時の電圧の時間変化。

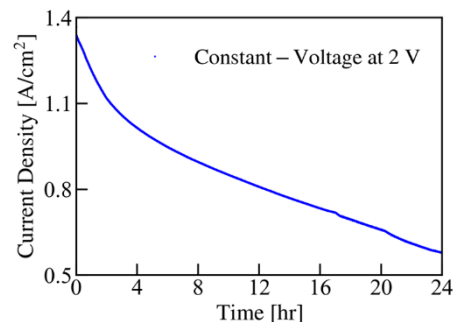


Fig. 3. 2.0 V 定電圧時の電流密度の時間変化。

電気化学的 CO₂ 還元中使用される陰イオン交換膜における 電気泳動に付随する水輸送の評価

Water Transportation by Electromigration of Hydrate in Anion Exchange Membrane for Electrochemical CO₂ Reduction

明治大学理工¹, 理研光量子², 明大 MREL³ °井上堅太郎¹, 小池 一輝^{1,2},
村上 武晴², 森下 圭², 小川 貴代², 藤井 克司², 和田 智之², 小椋 厚志^{1,3}
Meiji Univ.¹, RIKEN RAP², MREL³ °Kentarō Inoue¹, Kazuki Koike^{1,2}, Takeharu Murakami²,
Kei Morishita², Takayo Ogawa², Katsushi Fujii², Satoshi Wada², and Atsushi Ogura^{1,3}

E-mail: ce241049@meiji.ac.jp

二酸化炭素 (CO₂) に代表される温室効果ガスの増加による地球温暖化は、現代社会が解決すべき問題のひとつである。電気化学的 CO₂ 還元は、大気中の CO₂ 濃度を削減する技術として注目されている。現在、低消費電力での運転が期待される固体高分子電解質膜 (PEM) を用いたゼロギャップ CO₂ 還元リアクターの開発がおこなわれている。ゼロギャップリアクターによる CO₂ 還元では、アノードとカソードは陰イオン交換膜 (AEM) で分離されており、アノード側に KHCO₃ や KOH などの電解液、カソード側に CO₂ が供給され、CO₂ 還元反応が行われる。

AEM を水が透過する主な原因として電解液濃度差浸透とイオンの電気泳動に付随する水和水の透過が考えられている [1]。これらの水の透過のバランスによりリアクターは CO₂ 還元に適した環境を維持できる。現在 CO₂ 還元で使用されている AEM のイオン選択性は不十分であり、アノード側に供給された電解液中の陽イオンとともに水分子がカソードへ移動する。この移動が必要以上におきとフラッドイングと呼ばれるカソード側の CO₂ 供給流路部分にまで電解液が出てくる現象が発生する。フラッドイングは CO₂ 還元の継続時間に大きな影響を与えるため、我々は AEM における水輸送について H 型セルを用いて調査している。前回の電解液濃度差による水透過量の評価に続き [2]、今回は電界によるイオンの電気泳動による水透過を調べるために、膜の両側に同濃度の電解液 (KHCO₃, KOH) を入れ、電界をかけて水透過量の評価を行った。

電界をかける前後の膜の両側の水量を比較したところ、印加する電流密度が高くなるにつれてカソードからアノードへの水の透過量が増加するのを確認した。これは陰イオンが陽イオンと比較して AEM を透過しやすいため、カソードからアノードへ陰イオンが泳動するのに付随する水の移動量が多いためであると考えられる。また、透過水量は電解質濃度の増加とともに減少した。ゼロギャップリアクターを用いた CO₂ 還元反応の定電流運転では、アノードからカソードへ移動した陽イオンが反応で消費されないためカソード中の電解液濃度が上昇する。そのため、カソードの電解液濃度上昇に伴いアノードからカソードへの濃度差浸透とカソードからアノードへの陰イオンに付随した水透過が同時に発生する状況となる。すなわち、濃度差浸透が陰イオンに付随する水透過に勝る場合、カソード側でフラッドイングが生じる可能性が示唆された。

[1] Garg, S., et al., Energy Environ. Sci. 15, 4440–4469 (2022).

[2] 井上 他, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 25p-12C-2, 2024.

銅電極を用いた電気化学的 CO₂ 還元の長期運転における 還元生成物の変化

Changes in reduction products during long-term operation of electrochemical CO₂ reduction using Cu electrodes

明治大学理工¹, 理研光量子², 明大 MREL³ °小池 一輝^{1,2}, 村上 武晴², 井上堅太郎¹,

小川 貴代², 藤井 克司², 和田 智之², 小椋 厚志^{1,3}

Meiji Univ.¹, RIKEN RAP², MREL³ °Kazuki Koike^{1,2}, Takeharu Murakami², Kentaro Inoue¹, Takayo Ogawa²,
Katsushi Fujii², Satoshi Wada², and Atsushi Ogura^{1,3}

E-mail: kazuki_koike_yz@meiji.ac.jp

地球温暖化は現在世界中で大きな問題となっている。地球温暖化の主な原因は、大気中の CO₂ 濃度の上昇である。電気化学的 CO₂ 還元は、電気エネルギーを用いて CO₂ をギ酸、メタン、エチレン、エタノールに還元し、大気中の CO₂ 濃度を減少させる技術として注目されている。電気化学的 CO₂ 還元における現在の課題は、生成物の選択性と運転の安定性である。生成物の選択性は、陰極電極の材料や反応時の陰極電位によって決まることが知られている。電極材料の種類、特に金属の種類や結晶面が生成物に影響を与える。銅陰極は、プラスチック原料など工業的に有用なエチレンを効率よく生成できることから注目されている。しかし、生成物の制御は未だ不十分である。また、長期運転により銅表面が変化し、エチレン還元効率が低下するという問題もある。特に、H 型セルを用いた CO₂ 還元の長時間運転による生成物の変化は未だ明らかになっていないが、この変化は安定性問題の解決に重要である。

我々は H 型セルに Cu 電極を用いて 500 時間の CO₂ 還元を行い、生成物、電解時の電位、電解前後の電極表面を調べた。電解液は 0.1M KHCO₃、電流は 5mA/cm² 一定とした。長時間電解による溶液の減少を避けるため、セル内の溶液量を一定に保つことができる実験系を構築した。

ファラデー効率と電位変化を図 1 に示す。電解開始直後は水素生成のみであったが、その後徐々にエチレン生成が増加した。エチレン生成ファラデー効率は、運転開始から約 10 時間後に最大 30% に達した。その後、エチレン生成効率が低下し、メタン生成が増加した。電解前後の電極表面形状を評価したところ、表面形状に変化が見られた。電解後、水の消費と蒸発により電解液は 0.2M となった。これらの結果から、電解中の電極表面形状と溶液濃度の変化が生成物の選択性に影響を与えたことが示唆された。

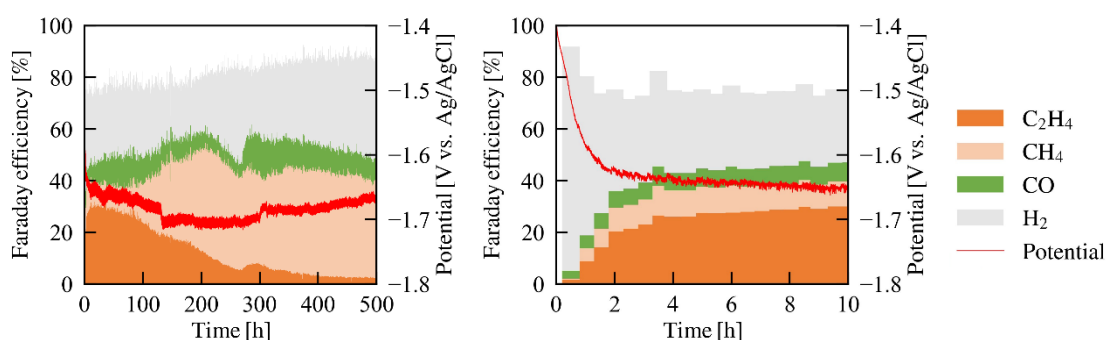


図 1 銅電極を用いた長時間の CO₂ 還元における生成物のファラデー効率と電解中の電位。左図は 500 時間全体の結果、右図は左の最初の 10 時間の拡大図。

ゼロギャップ(MEA)型セルを用いた CO₂還元反応における アノライト濃度とフラッディングの関係

Relationship between anolyte concentration and flooding in CO₂ reduction reaction using a zero-gap (MEA) type cell

理研 RAP¹, °森下 圭¹, 村上 武晴¹, 松本 健¹, 小川 貴代¹, 藤井 克司¹, 和田 智之¹

RIKEN Center for Advanced Photonics¹, °Kei Morishita¹, Takeharu Murakami¹, Takeshi Matsumoto¹,
Takayo Ogawa¹, Katsushi Fujii¹, and Satoshi Wada¹

E-mail: kei.morishita@riken.jp

電気的な CO₂還元技術は地球温暖化防止策の一つであり、触媒として Cu を用いることで CO₂を電気化学的に炭化水素やアルコール、酸に還元出来ることが知られている[1]。

我々は低い二極間電位を達成するためにゼロギャップ (MEA) 型セルを用い、水素生成反応 (HER) 抑制のため固体電解質としてアニオン交換膜を使用した電気化学的 CO₂還元 (CO₂RR) により、種々の化学原料となり、貯蔵に汎用性のあるエチレンを長時間安定に生成することを目標としている。

CO₂RR にはアルカリ金属陽イオンと水が必要であることが知られており[2]、このイオンが水和物の形で水を伴いアノードからカソードに移動することで CO₂RR が進行する。しかしこの量が多いとカソード背面までアノライトが染み出すフラッディングという現象が生じ、カソード反応触媒への CO₂ガスの供給が阻害されて HER が促進される。また、カソードのアルカリ金属陽イオンが溶解限界を超えると炭酸水素塩として析出し、CO₂ガスの供給が完全に遮断される場合もある。

我々は、この中で、フラッディングについての理解を得るためにアノライト濃度とフラッディング量の関係に着目した。アニオン交換膜として Sustainion、アノライトとして KHCO₃を用いた際の KHCO₃濃度に対するカソード側へのフラッディング量を Fig. 1 に記す。KHCO₃濃度が高くなるとフラッディング量は増加する。カソード側の K⁺の量もフラッディング量の増加に伴い増えることから、アノライト濃度が高くなることで、電気泳動により移動する K⁺イオンが増え、それに伴い水和により移動する水の量が増えたことが原因だと考えられる。このことは、アノライト濃度を最適化することで、フラッディング量を抑制させ安定稼働出来る可能性を示唆している。

尚、本研究の一部はNEDOの助成事業 (JPNP18016) として実施されたものである。

[1] Y. Hori, Modern Aspect of Electrochemistry 42 (2008) 89.

[2] M. C. O. Monteiro, et al., Nature Catal. 4 (2021) 654.

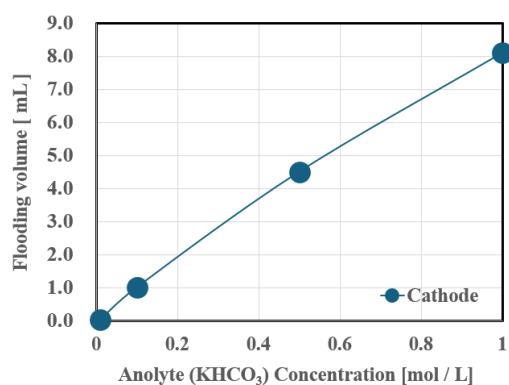


Figure 1. Relationship between KHCO₃ electrolyte concentration and flooding volume after 300 min operation. The used membrane was Sustainion.

CO₂還元リアクターのフラッディングにおけるアニオン交換膜の役割

Role of Anion Exchange Membrane on Flooding in a CO₂ Reduction Reactor

理研光子¹, 明治大学², MREL³ ○村上 武晴¹, 森下 圭¹, 小池 一輝^{1,2}, 井上 堅太郎^{1,2},
松本 健¹, 小川 貴代¹, 藤井 克司¹, 小椋 厚志^{2,3}, 和田 智之¹

RIKEN Center for Advanced Photonics¹, Meiji Univ.², ○Takeharu Murakami¹,

Kei Morishita², Kazuki Koike^{1,2}, Kentaro Inoue^{1,2}, Takeshi Matsumoto¹,

Takayo Ogawa¹, Katsushi Fujii¹, Atsushi Ogura^{2,3}, and Satoshi Wada¹

E-mail: takeharu.murakami@riken.jp

電気化学的な CO₂還元反応 (CO₂RR) は、CO₂ から電気エネルギーによって炭化水素等を直接生成するプロセスで、化学合成のような炭化水素が不可欠な分野においてもゼロ・エミッションを達成するためのキーになる技術として期待されている[1]。電気化学的 CO₂還元リアクターの中で、実用化に向けて最も有望と考えられているものは、固体高分子電解質膜を用いるゼロギャップリアクターである。このリアクターは、アニオン交換膜 (AEM) で分離されたカソード側に、Cu などの CO₂還元触媒を塗布した多孔質のガス拡散層(GDL)を配置し、GDL の背面から CO₂ ガスを供給する。アノード側からは KHCO₃ などの炭酸水素塩を含む電解液を供給する。カソード反応に必要な水分子と、カソード触媒の局所的な pH 環境を高めるアルカリカチオンは、膜を通じてアノードからカソードに移動した上で機能する。しかし、電解液がカソード GDL を乗り越え背面までオーバーフローすると、カソード触媒層への CO₂ ガスの拡散が阻害され、リアクターは CO₂還元能力を失い単なる水素発生リアクターになってしまう。CO₂還元リアクターにおけるフラッディングと呼ばれるこの問題は、燃料電池においてよく知られている同種の問題とは異なり、電解液のエレクトロウェッティングによる GDL での疎水性の低下、カソードでのアルカリ電解質による疎水性 PTFE 層の分解、GDL での塩析出等が起こるため燃料電池分野で開発された対策は有効ではない。

我々はフラッディングのメカニズムを理解するため、ゼロギャップリアクターのイオン交換膜を横切る水輸送の性質に着目した。リアクターにおけるフラッディングは、膜の透水率から予想されるよりもはるかに急速に起こる。これは、フラッディングが電流による分子運動に付随するものであることを示唆する。しかし、アニオン交換膜でのアニオン水和物輸送に伴う水の移動はカソードからアノードに向かうものであり、フラッディングとは逆方向であることが知られている[2]。我々はフローセルの両側にさまざまな濃度の電解液を流して電解実験を行った結果、カソードでの電解液濃度が非常に高い場合、水のアノードからカソードへの拡散浸透が支配的であることを明らかにした。このことは、カソードでの C₂化合物生成に必要と考えられている高カチオン濃度環境が実現すると、アノードからカソードへの水の移動が増加しフラッディングの原因となることを示している。

本研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP18016) の結果得られたものです。

[1] Y. Hori, Modern Aspect of Electrochemistry 42 (2008) 89.

[2] Garg, S., et. al., Energy Environ. Sci. 15, 4440–4469 (2022).

デュアルアルカリ-金属-イオン共存する正極材料の開発及びナトリウムイオン電池への応用

Development of dual alkali-metal-ion coexisting cathode materials to application of sodium ion batteries

九工大 (D) 孫 嘉澤, ○馬 廷麗

Kyushu Ins. Tech., Sun Jiaze, ○Ma Tingli

E-mail: tinglima@life.kyutech.ac.jp

Energy production and storage technologies have attracted a great deal of attention for day-to-day applications. In recent decades, advances in lithium-ion battery (LIB) technology have improved living conditions around the globe. Therefore, whether LIBs alone can satisfy the rising demand for small- and/or mid-to-large-format energy storage applications remains unclear. To mitigate these issues, recent research has focused on alternative energy storage systems. Sodium-ion batteries (SIBs) are considered as the best candidate power sources because sodium is widely available and exhibits similar chemistry to that of LIBs. Therefore, SIBs are promising next-generation alternatives.

Similar to LIBs, highly reversible cathode materials based on the intercalation reaction, which involves interstitial introduction of a guest species (Na^+ in the present context), are needed for high capacity and good cyclability of SIBs. These electrode materials are mainly categorized into oxides, polyanions such as phosphates, pyrophosphates, fluorosulfates, oxychlorides, and NASICON (Na super ionic conductor) types, and organic compounds

NASICON fast-ionic conductors have been largely considered as a viable solution for the development of energy storage units. Due to its three-dimensional framework and high operating voltage, NASICON-type material has been extensively investigated for sodium-ion batteries.

Chemical doping is a popular technique to improve the electrochemical performances. The Mn-based NASICON-type $\text{Na}_4\text{VMn}(\text{PO}_4)_3$ materials are promising cathode materials for sodium-ion batteries (SIBs) due to their environmental friendliness and cost-effectiveness. However, the unexpected Jahn-Teller effect induced by Mn^{3+} and sluggish Na^+ diffusion kinetics in $\text{Na}_4\text{VMn}(\text{PO}_4)_3$ cathodes lead to the unfavorable structural distortion and rapid capacity fading.

Some research work confirmed Heterogeneous alkali-metal-ion doping were considered as a good solution to enhance the structural stability and improve the ions transmission of cathodes in SIBs and LIBs. In this work, we demonstrated that dual-ion substitution with the Li^+ and K^+ ions, such as NASICON $\text{Na}_x(\text{Li}, \text{K})_{1-x}\text{VMP}$ series, induced a faster ionic conductivity, due to the enlargement of the tunnels' bottleneck. Based on the XRD refinements, Li^+ and K^+ might occupy Na^+ sites or transition metal ion sites. The electrochemical properties of the $\text{Na}_x(\text{Li}, \text{K})_{1-x}\text{VMP}$ were evaluated. The electrochemical performance was also discussed. These results will be presented.

Mg 二次電池正極材料 $\text{Mg}_{1+x}\text{V}_{2-x-y}\text{Mn}_y\text{O}_4$ の第一原理計算を用いた放電後の安定構造の検討および置換原子の影響の解明

Investigation of stable structure and the effects of substituted atoms in $\text{Mg}_{1+x}\text{V}_{2-x-y}\text{Mn}_y\text{O}_4$ after discharge as cathode materials for Mg secondary battery using first-principles calculation

東理大創域理工, °伊美 龍志, 石橋 千晶, 北村 尚斗, 井手本 康

Tokyo Univ. of Sci, Ryushi Imi, Chiaki Ishibashi, Naoto Kitamura, Yasushi Idemoto

E-mail: 7223510@ed.tus.ac.jp

1. 緒言 Mg 二次電池は Mg が二価であるため高い体積エネルギー密度が期待されており、次世代型二次電池として研究が行われ、スピネル型 MgM_2O_4 について $M = \text{Co}, \text{Mn}, \text{V}$ の電気化学的特性に関する研究が報告されている。特にスピネル型 $\text{Mg}_{1.33-x}(\text{V}_{1.67-x-y}\text{Mn}_y)\text{O}_4$ は 200mAh/g 近くの放電容量を示し、20 サイクルまで容量が劣化しないことが報告されている¹⁾。しかし、多種類の遷移金属が含まれている複雑な系であるため局所構造が未解明であり、電池特性向上の原因は不明であった。そこで本研究では、第一原理計算を用いてスピネル型 $\text{Mg}_{1+x}\text{V}_{2-x-y}\text{Mn}_y\text{O}_4$ ($x=1.25, y=0.2$: MVMO1202 および $x=1.33, y=0.2$: MVMO1302) の安定な局所構造を決定した後に放電後の安定構造の検討および Mn や Mg の影響を予測することを目的とする。

2. 計算方法 計算プログラムは VASP、図形描画ソフトは VESTA を用いた²⁾。汎関数には GGA-PBE を用いた。カットオフエネルギーが 500eV、k-point メッシュは $1 \times 2 \times 2$ を適用して第一原理計算を行った。

3. 結果および考察 Fig.1 に MVMO1202 の a) 充放電前および b) 放電時(Mg 挿入量 0.25)の構造緩和計算後の安定構造をそれぞれ示す。モデルは実験研究で合成し結晶構造解析を行った際の占有率をベースにして作成した。充放電前のモデルの Mn

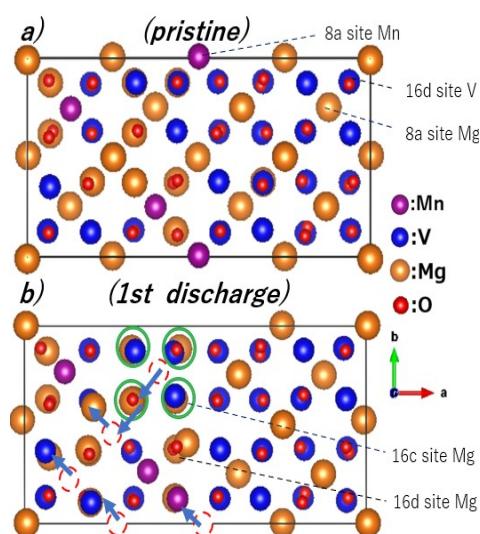


Fig.1 Stable structure of MVMO1202 of a) pristine and b) 1st discharge after structural relaxation calculation

は全て 8a サイトに存在する。充放電前の空孔 16c サイトに Mg を入れることにより放電時の構造変化を調べた。この際、Mg はカチオンミキシングがみられる部分へ挿入される傾向を示し、8a サイトの Mn は Mg に比べて動きにくいことが確認された。

謝辞 本研究の一部は JST 革新的 GX 技術創出事業 (GteX)、JPMJGX23S1 の支援を受けたものであり、関係各位に深く感謝します。

参考文献 1) Y. Idemoto, M. Takamatsu, C. Ishibashi, N. Ishida, T. Mandai and N. Kitamura, *J. Electroanal. Chem.*, **928**, 117064 (2023). 2) K. Momma, F. Izumi, *J. Appl. Cryst.*, **44**, 1272 (2011).

波長分散型軟 X 線吸収分光法による 酸素発生触媒電極と電解液界面近傍のリアルタイム・オペランド観察 Real-time and *Operando* Observation of the Interface between Oxygen Evolution Catalyst Electrode and Electrolyte using Wavelength-dispersive Soft X-ray Absorption Spectroscopy

KEK 物構研 [○] 阪田 薫穂, 雨宮 健太

KEK IMSS, [○] Kaoruho Sakata, Kenta Amemiya

E-mail: kaoruho.sakata@kek.jp

水分解用触媒電極を用いた水素発生反応は、生成した水素を環境負荷の低い次世代エネルギーの一つとして使用できるため様々な研究が行われている。酸素発生電極は性能のボトルネックになっており、また反応素過程も不明点が多い。我々が独自に開発した波長分散型軟 X 線吸収分光法 (XAS)¹ では、時間分解能 3~10 秒毎でのスペクトル取得が可能であり、固液界面における電気化学反応の解析が行えるシステムと組み合わせて、リアルタイム・オペランド観察を行うことができる^{1,2}。本研究では、この手法を用いて、薄膜電極上に担持した Co 酸化物の電位掃引中の酸素発生反応をリアルタイムで測定を行った。波長分散型 XAS の光学系と、組み合わせて使用した電気化学測定セルの模式図を図 1 に示す^{2,3}。電気化学測定セルと XAS の測定装置の真空系は 200 nm の Si₃N₄ 薄膜の窓材で仕切られている。電極は導通層として Au を Si₃N₄ 窓材上に 10 nm 成膜し、その上に、Co を 5 nm 積層した後 300℃で 10 分アニールを行った。電解液として 0.1 M NaOH 水溶液を用いた。本実験は Photon Factory BL-16A において実施した。酸素の K 吸収端に着目して、電極/溶液界面での電極表面や反応中間体の観察を目指して実験を行ったところ、表面近傍の化学種に由来するとみられるピークが電位に伴って強度変化する様子を確認することができた。

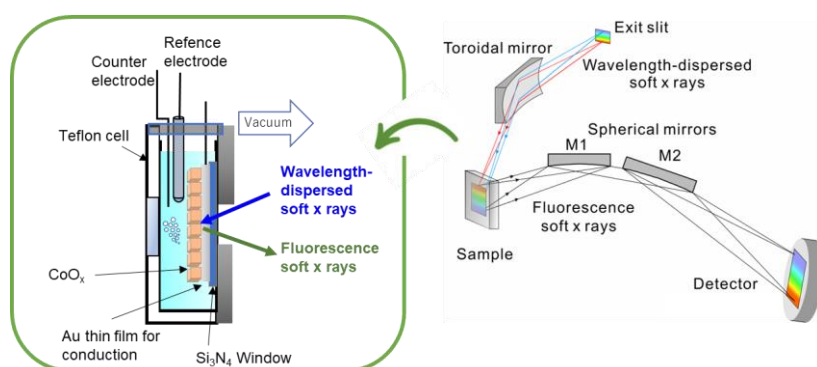


図 1 波長分散型軟 X 線 XAS 装置および電気化学測定用セルの概略図

参考文献

- 1) K. Amemiya, K. Sakata, M. Suzuki-Sakamaki, Rev. Sci. Instrum., 2020, 91, 093104.
- 2) K. Sakata and K. Amemiya, Electrochem. Commun., 157, 107627 (2023).
- 3) K. Sakata and K. Amemiya, Electrochem. Commun., 165, 107771 (2024).

雰囲気遮断システムを用いた硫化物系全固体電池の解析ソリューション

Analysis solution of Sulfide-Based All-Solid-State Batteries Using an Air-Protection System

(株)日立ハイテク¹ ○仲野靖孝¹、五十嵐啓介¹、伊藤勝治¹、稲木由紀¹、相蘇亨¹、浅倉浩之¹、佐藤岳志¹

Hitachi High-Tech Corporation¹, ○Kiyotaka Nakano^{1*}, Keisuke Igarashi¹, Katsuji Ito¹, Yuki Inage¹, Toru Aiso¹, Hiroyuki Asakura¹, and Takeshi Sato¹

E-mail: Kiyotaka.nakano.ey@hitachi-hightech.com

【概要】近年、盛んに研究が行われている硫化物系全固体電池は、軽量かつ大容量化が可能で、急速充電も対応可能なため、電気自動車等の蓄電システムへの応用が期待されている。しかし、硫化物系全固体電池は水との反応性が高く、大気中の僅かな水分とも反応し、形状や組成が変化する。そのため、硫化物系全固体電池の解析においては、試料と大気の接触を防いだ環境で、解析目的を満たす一気通貫のシステムが必要となる。これまで我々は、共用カプセル式ホルダやホルダーリンクージによる装置間移動システムを開発し、大気非接触での観察や分析に適応してきた[1]。今回、このシステムを硫化物系全固体電池の解析に適応し、試料を大気に接触させることなく、 μm から nm 領域までの観察/分析を行ったので報告する。

【実験方法】同一条件で硫化物系全固体電池を2個作製し、充放電サイクル試験を1回行った試料と100回行った試料を準備した。グローブボックス内で試料の開封・割断を行い、その後、イオンミリング装置、AFM、SEM、FIB-SEM、TEMを使用して加工・観察・分析を実施した。

【結果】図1にイオンミリングで断面加工後のSEM像と走査型拮がり抵抗顕微鏡(Scanning Spread Resistance Microscope : SSRM)で測定した結果を示す。(a)(b)がサイクル試験1回と100回のSEM像で(c)(d)が抵抗像である。(c)(d)の抵抗像からグラファイトより固体電解質は抵抗が高く、サイクル試験を100回行った試料の方が抵抗値は全体的に高くなっていることが確認できる。発表では、グラファイト/固体電解質の界面をSEMやTEMを用いて観察分析結果について報告する。

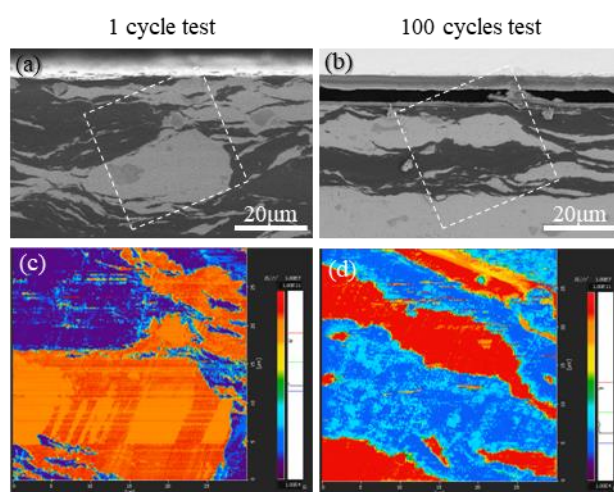


Fig.1 (a)(b) Cross-sectional SEM images and (c)(d) SSRM images of the area enclosed by the dashed line in All-solid-state batteries tested for 1 and 100 cycles

[1] Misae Otoyama et al., J. Phys. Chem. C 125, 5, 2841-2849.

金属・有機複合太陽電池の新規発電メカニズムの考察

Consideration of Novel Photoelectric Conversion Mechanisms for

Metal-Organic Composite Photovoltaic Cells (MOC-PVs)

ミネベアアクセスソリューションズ¹, 小山高専² ○松本 渚^{1*}, 加藤 岳仁²

Minebea AccessSolutions Inc.¹, NIT, Oyama College², °Nagisa Matsumoto^{1*}, Takehito Kato²

E-mail: nagisa_matsumoto@minebea-as.com*

1. 背景：

本年の春の学会にて銀ナノ粒子の積層膜とチタンアルコキシド類を組み合わせることで金属外観を有する新型の光電変換素子が実現したことを報告した。この素子は発見直後のため発電は確認できたもののメカニズム等が不明な状態である。その特徴的な IPCE スペクトルの結果から中間バント的な挙動と解釈したが、二光子励起ではないので違う現象ではないかとの指摘を頂いた。今回、データを更に解析して発電メカニズムの考察を行い、知見を得たので報告する。

2. 実験と結果：

基材として ITO または FTO を用意し、チタン(IV)ブトキシドポリマー(以下 TiOBu)をスピンコートして加熱乾燥、その後銀ナノ粒子をコート、最後にホール輸送層として PEDOT:PSS を塗布するのを基本構成とした(Fig.1)。構成を変えて影響を見る為、TiOBu の加熱乾燥後に界面の調整を狙って MK-2 色素の 0.1%溶液に 30min 浸漬する、アクセプター変更として TiOBu を[60]PCBM に換える、前回に続き銀と PEDOT:PSS の間に P3HT をコートして別のドナー性分子で挟む等の変更を実施した。各々の条件サンプルを作成し IPCE スペクトルを測定し、変化や傾向を調べた。

結果、特徴的な 1000nm に掛けて緩やかな裾が確認された場合、300nm の立ち上がりがセットで出現する事が全体の傾向として見出された(Fig.3)。このセットの出現の程度は I-V カーブ形状と緩やかにリンクしている様子も確認された。更に、同一のサンプルを裏表から IPCE スペクトルを測定したところ一方で 320nm のピークが 300nm へシフトする様子が確認された。

3. 考察：

PEDOT または TiOBu のピークの誤認の可能性を検討する。TiOBu を[60]PCBM に変更してもスペクトルは変化しない。また銀と PEDOT の間に濃い赤橙色の P3HT を一層入れても僅かに P3HT のピークが出現する程度の為、より吸収が弱い PEDOT では明確なピークにはならないと予想。

以上の事からこのスペクトルの発生は銀ナノ粒子積層膜に起因すると考える。2つのピークと1つの裾に分けられることから電荷注入ルートは Fig.2 に示す通り 3 通りあり、銀ナノ粒子積層が形成するバンドのはみ出し具合で①と③の出現具合が変動するものと現段階では予想する。この銀ナノ粒子積層中のバンドは、完全な金属外観が発現する理由である『積層膜中で粒子間を超えて自由に動き回る電子』の存在を同時に説明することになり既存の結果と矛盾しない。

この考察を確かなものとするため、より多角的に実験を行い、当日議論することとする。

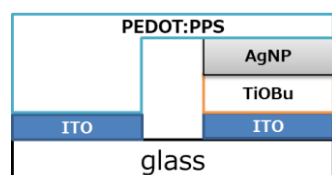


Fig.1 Image of device structure

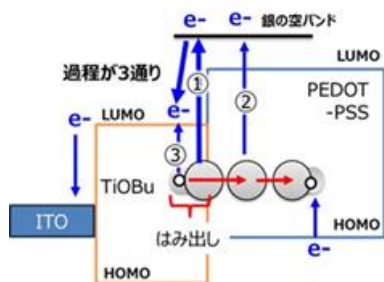


Fig.2 Mechanisms image

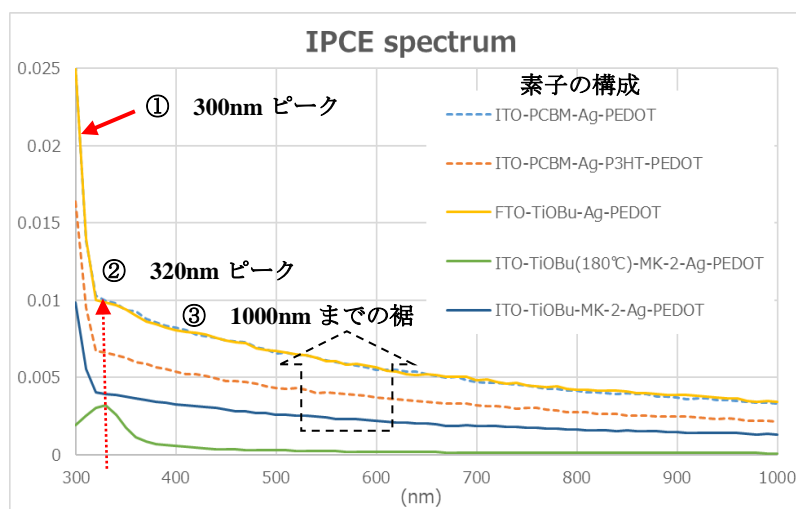


Fig.3 IPCE spectral measurement results

熱音響用リニア発電機の原理検証

Fundamental of the Linear Generator for Thermoacoustic Applications

東海大院工, [○](M2) 藤原 圭佑, 木村 英樹, 佐川 耕平

Grad. Sch. of Eng, Tokai Univ.,

[○](M2) Keisuke Fujiwara, Hideki Kimura, Kouhei Sagawa

E-mail: 3CEIM041@tokai.ac.jp

1. 緒言

地球温暖化やエネルギー資源枯渇などの問題解決に向け、本研究では熱エネルギーを音響エネルギーに変換する熱音響機関に着目した。熱音響機関に用いる熱は工場や自動車などから排熱を利用することで、石油資源の使用量を減少させることができる。熱音響機関から出力される音響エネルギーは使用用途が限定されるため、応用範囲が広い電気エネルギーに変換する熱音響機関用発電機の動作検証を行った。

2. 熱音響機関用発電機の試作

管状を伝わる音波は直動的な動きであるため、回転型発電機に inputs する際に往復運動を回転運動に変換するクランク機構でエネルギーロスが発生する。そこで、発電機としてリニア発電機に着目した。リニア発電機は出力 100W を目標に設計した。往復運動のため音波を受ける可動子が加減速を繰り返すことから、軽量なムービングコイル型とし、重量の重いマグネットと鉄ヨークを固定子とした。この時、エアギャップを狭くし、永久磁石に磁束密度の大きな N35 を採用した。試作にあたり構造が複雑化するため片側のみにマグネットを配置した。可動子コイルを支持するボビンには ABS 樹脂を用い、軽量化と高速な往復運動に耐える強度確保を目指した。Fig. 1 に試作したリニア発電機の投影図と側方図を示す。

3. 実験結果

リニアアクチュエーターを使用して熱音響機関から出力される音波を再現し、製作したリニア発電機の原理検証を行った。Fig. 2 にリニア発電機の出力波形およびシミュレーション波形を示す。低速時での出力が一致していることを確認した。また、4 極から 8 極に改良したところフレミング右手の法則に従い出力電圧は 2 倍になった。以上の結果から、目標とした出力電力実効値 100W を達成し得ることを確認した。

本発表では、高速で動作させた際の出力波形の変化について報告を行う予定である。

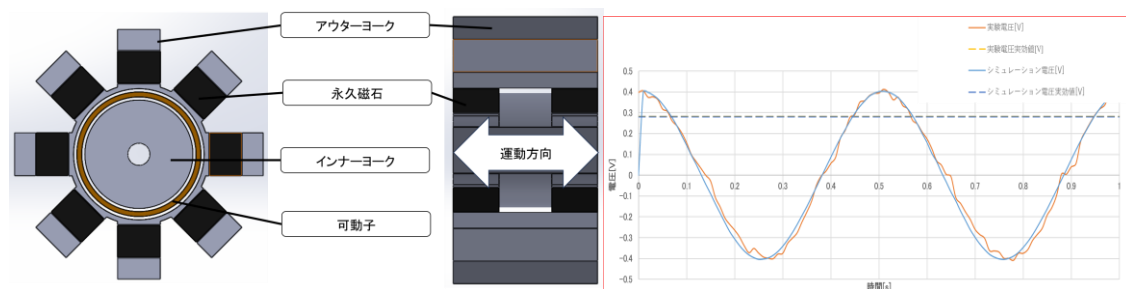


Fig. 1 Linear generator projection and side view

Fig. 2 Output power waveform comparison

Element change (nuclear transmutation)

Change cesium to barium (the corresponding barium amounts does not indicate here).

We showed the amount of Cs 134 and 137 as below;

Number of atoms $\times 10^{23}$ (log scale)

2011/May; Cs134 1.5 and Cs137; - 0.5: 2011/August; Cs134; 0.2 and Cs137; - 0.8.

2011/Oct. ; Cs134 - 2.4 and Cs137; -1.0: 2012/March; Cs134; -2.4 and Cs137; -1.2

Mechanisms of nuclear changes;

Reaction between Cs and an Infoton that ascends the pommel-shaped potential with energy provided by ^{137}Cs (661.6 keV portion) and/or ^{134}Cs (563–1365 keV portion) (not shown). Furthermore, if the mass of the Infoton is 1.676×10^{-27} kg and it is traveling at 5% of the speed of light, its kinetic energy is calculated to be about 1170 keV, corresponding to the decay energy of ^{137}Cs .

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ ($p + e^- = A_{\text{ex}} + A_{\text{Cs}} = A + A_{\text{Ba}}$) $^{137}\text{Cs} + (\simeq n) \rightarrow ^{138}\text{Ba} + e^- + \nu$

ファイバー導入による高分子ゲルの熱運動抑制とイオン吸着特性に与える影響 Thermal Motion Suppression of Polymer Gels by Fiber Introduction and Their Ion Adsorption Properties

九州大学大学院工学府量子物理工学専攻 山形直寛、河野真也、日高芳樹、石田謙司、岡部弘高

Kyushu Univ. : N. Yamagata, S. Kawano, Y. Hidaka, K. Ishida, H. Okabe

E-mail : yamagata.naohiro.113@s.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

日本はレアメタルの供給で輸入に依存しており、供給問題への対策として海水からの回収が提案されている。当研究室は高分子ゲルの吸着法[1]で効率化を目指しているが、さらなる改善が求められている。以前の研究では、Carbon Nano Fiber (CNF: ϕ 100 nm, L 20-200 μ m)) を用いて吸着阻害要因と考えたゲルの熱運動を抑制しようとしたが、CNF の疎水性による凝集と考えられるゲル硬化が発生した。今回は、カルボキシ基導入・親水化 Carbon Nano Tube (CNT: ϕ 9.5 nm, L 1.5 μ m)) を使用してゲルを作製し、動的光散乱 (DLS) 法と誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) でその性質を評価した。

2. 実験方法

ゲルの作製方法について述べる。主鎖用に AAm、吸着基にアクリル酸ナトリウム(SA)、架橋剤にメチレンビスアクリルアミド(BIS)、さらに CNT、重合開始剤として過硫酸アンモニウム(APS)を溶媒である超純水に溶かして、24 時間 60 $^{\circ}$ C に保ち、熱重合させてゲルを作製した。CNT 濃度の異なるゲル試料を DLS 装置 (Malvern 社製 Zetasizer Nano ZSP) に挿入して自己相関関数を測定しゲルの熱運動の時間スケールを比較した。作製したゲル試料を多元素溶存標準液 (Merck 社製 Multielement standard solution 5 for ICP を 100 倍希釈) に 3 日間浸漬し、マイクロ波前処理装置 (Milestone 社製 ETHOS One) で硝酸に混合して液化し、ICP-MS (Agilent Technologies 社製 7700x) で各元素濃度を測定した。得られたデータからゲル試料の吸着量の算出を行った。

3. 結果と考察

親水化 CNT を挿入したゲルの 1 g 当たりの吸着量を Fig. 1 に示す。元素によって CNT を導入することによる吸着の変化に違いが見られた。CNT をゲルに挿入した時、CNT の濃度によっては Na、Al、Ti、Ca、Fe、Bi において吸着量が増加した一

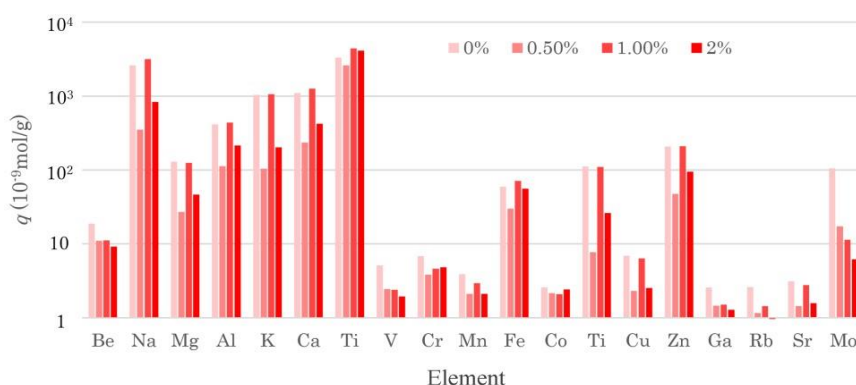


Fig. 1 Element adsorption amount by gels with different CNT concentrations.

方で、Be、V、Cr、Mn、Ga、Rb、Mo は CNT 濃度に関わ

らず吸着量が減少した。CNT によりゲルの熱運動が抑制され、単純に吸着量が上がると予想したが、濃度や元素によって吸着量の変化は様々であった。これらの特性は多元素溶液を用いたことによるイオンの相互作用の影響も考えられる、現在、単元素による吸着実験の測定に取り組んでいる。

参考文献

[1] K. Hara et al: Prog. Nucl. Energy, Vol. 92, pp.228-233 (2016)

空中放電を用いたマイクロ熱エンジンの検討

Investigation of the micro heat engine using air electrical discharge

信州大工¹, [○](M2) 松尾 一馬¹, 杉岡秀行¹

Shinshu Univ.¹, [○]Kazuma Matsuo¹, Hideyuki Sugioka¹

E-mail: 23w4064f@shinshu-u.ac.jp

次世代のマイクロロボットや微小飛行体が注目を集めている。またその発展には、つながれていない状態で駆動できる小型エンジンの開発が必要不可欠である。そこで我々の研究室では、水中放電による水の吐出を利用した小型飛行デバイスなどを提案してきた[1]。しかし、空中放電を利用した、つながれていない状態で動作する小型熱エンジンは、まだ提案も検証もされていない。そこで、本報告では空中放電を利用した小型熱エンジンを提案し、性能について検証した結果を報告する。具体的には、Fig. 1のように二枚のPET フィルムを交差するように接続し、動力部となる下側 PET フィルムの片面に、中央に隙間ができるように銅線針状アンテナを貼り付けデバイスを作成した。また、動力部の両側に銅線針状電極を平行に設置し、高電圧を印加した。その結果、左方向にデバイスが動き始め、一回目の放電直後に観測点で約 90 mm/s の最大速度を観測した。ここでデバイスの運動は、空中放電によるショックウェーブが発生し、壁があることによって片側に推進力が発生したため、生まれたものだと考えている。このマイクロ熱エンジンは、将来的に微小飛行体のエンジンとして利用できる可能性がある。

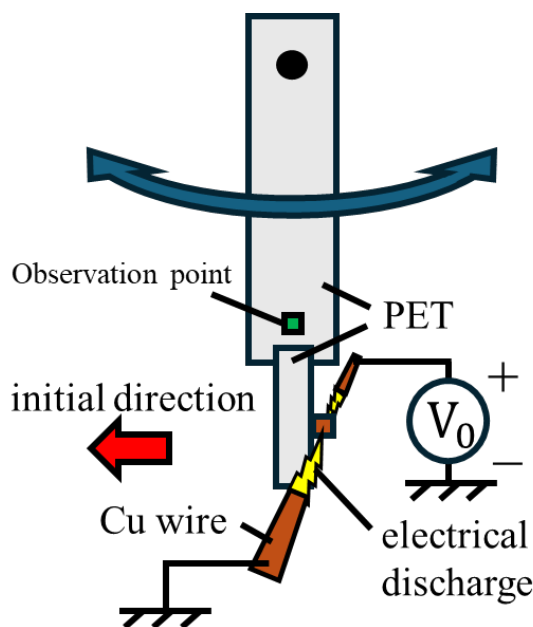


Fig. 1: Schematic view of experimental setup

【参考文献】

[1] H. Sugioka, Y. Arai, and N. Kakuda. Japanese Journal of Applied Physics 63. 017007 (2024).

【謝辞】

本研究は一部, JSPS 科研費 Grant number JP21K18698 の助成を受けております。

水中放電による回転デバイスの検討

Investigation of the rotation due to underwater discharge

信州大工¹, [○](M2)松尾 一馬¹, (M1)住田 大輔¹, 杉岡秀行¹

Shinshu Univ.¹, [○]Kazuma Matsuo¹, Daisuke Sumida¹, Hideyuki Sugioka¹

E-mail: 23w4064f@shinshu-u.ac.jp

放電現象は医療やプラズマスプレーなど、広い分野から注目されている。また我々の研究室では、水中放電を利用した水面を走行するスイマーなどを提案してきた[1]。しかし、同様の原理を用いた回転デバイスへの応用はいまだ進められていない。そのため、本報告では水中放電を利用した回転運動と、ポンプへの応用を提案し、性能について検証した結果を報告する[2]。具体的には、正方形の PET フィルムの下側に、正方形のアルミホイルを 9.68° ずらして張り合わせて回転デバイスを作成し、Fig. 1 に示すように一巡する流路の一部に軸をもうけて設置した。また、このデバイスの両側に銅線針状電極を平行に設置し、60 kV の直流電圧を印加した。その結果、デバイスは最大 25 rad/s の速度で時計回りに回転した。これは、銅電極とアルミ角部の間に放電が発生し、デバイス下部で水中放電による推進力が生まれたためだと考えている。また、流路内の水はデバイスの回転により一方向に流れ、約 9 mm/s の最大流速を得られることが分かった。この装置は小型化や薄型化が可能であるため、マイクロロボットやマイクロエンジン技術の発展に寄与する可能性がある。

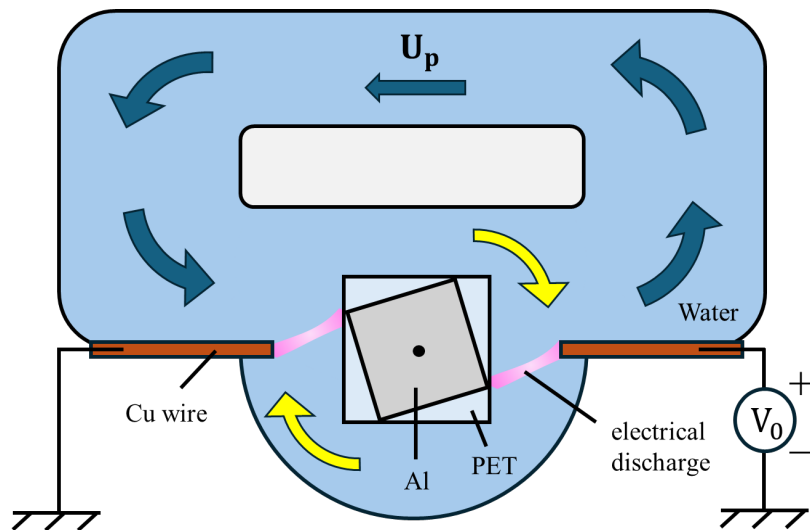


Fig. 1: Schematic view of experimental setup

【参考文献】

- [1] H. Sugioka and Y. Arai. Physics of Fluids 35. 096603 (2023).
- [2] H. Sugioka and K. Matsuo, submitted.

【謝辞】

本研究は一部、JSPS 科研費 Grant number JP21K18698 の助成を受けております。

オーバーハング構造型流体輸送デバイスの検討

Investigation of a water transport device using an overhang structure

信州大工¹, °杉岡 秀行¹, (M2)宮内 惇¹, (B)大城 敦史¹

Shinshu Univ.¹, °Hideyuki Sugioka¹, Atsushi Miyauchi¹, Atsushi Oshiro¹

E-mail: hsugioka@shinshu-u.ac.jp

発電所や工場で発生する廃熱の再利用が持続可能な社会の実現には重要である。そこで我々の研究室では、廃熱が利用可能な核沸騰領域で動作する液体輸送装置の研究を進めてきた[1]。しかし、核沸騰領域の泡の膨張圧力を使った液体輸送装置はまだ提案も検証もされていなかった。そこで、本報告では核沸騰領域の泡の膨張圧力を利用できるオーバーハング型の液体輸送装置を提案し、性能について検討した結果を報告する[2]。具体的には高さ 1 mm のオーバーハング構造を 18 個搭載した真鍮版をポリカーボネートで作成した流路の底に設置した。この流路内に 7 ml、水位 4.5 mm の蒸留水を入れ浮遊物を浮かべ、120 °C で加熱しビデオカメラ (30 fps) で観察した。その結果、流路を一巡する流れが発生することが分かった。さらに水位が 3 mm、熱源の温度が 112 °C の時に約 20 mm/s の最大流速が発生することが分かった。次に横方向からスロー (960 fps) で観察した。その結果、オーバーハング構造の鋭角部分から泡が発泡・膨張しその後浮力で離脱することが分かった。また、泡が発泡する際の速度は横方向に約 200 mm/s であることが分かった。このことよりオーバーハング構造を用いることで泡が横方向に膨張することが今回のデバイスの駆動原理であると考えている。この装置は将来的に工場廃熱を利用した液体輸送手段として応用される可能性がある。

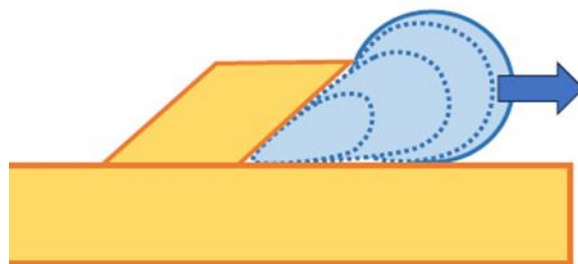


Fig1: Schematic view of a water transport device using an overhang structure

【参考文献】

[1] Hideyuki Sugioka, Atsushi Miyauchi: Generation of a net flow due to fixed oblique beam structures in the nucleate boiling region, *Physics of Fluids* 35, 024102 (2023)

[2] Hideyuki Sugioka, Atsushi Miyauchi, Atsushi Oshiro: Water transportation using a low-height overhang structure along with an expansion pressure of bubbles in a nucleate boiling region, *Physics of Fluids* 36, 024124 (2024)

【謝辞】

本研究は一部、JSPS 科研費 Grant number JP21K18698 の助成を受けております。

1 応用物理学一般 | 一般セッション(口頭講演): 1.5 計測技術・計測標準

[16p-C43-1~12] 1.5 計測技術・計測標準

[16p-C43-1]

分光エリプソメトリーにおける複素屈折率の直接推定

○中谷 仁¹、薮下 広高¹ (1.(株)堀場製作所)

[16p-C43-2]

基板中の微小欠陥深さ推定技術の開発

○山浦 大地¹、坂田 義太郎¹、寺崎 正¹ (1.産業技術総合研究所)

[16p-C43-3]

液中微細材料の粒子径・密度分布評価

○加藤 晴久¹、中村 文子¹ (1.産総研)

[16p-C43-4]

試験槽における気体温度計校正の不確かさ評価の研究

○石渡 尚也¹、阿部 恒¹ (1.産総研)

[16p-C43-5]

過熱水蒸気混合法と二圧力法を併用した広域湿度発生装置の開発

○伊與田 浩志¹、坂元 千里¹、山本 靖登¹、増田 勇人¹、田中 秀幸²、阿部 恒² (1.阪公大院、2.産総研/計測標準)

[16p-C43-6]

波長可変半導体レーザ吸収分光法による高温下での湿度測定装置の開発

○山本 靖登¹、伊與田 浩志¹、増田 勇人¹、阿部 恒² (1.阪公大院、2.産総研/計測標準)

[16p-C43-7]

磁気力顕微鏡を用いた非磁性体抵抗率計測の試料加振による感度の向上

○岡本 一真¹、大徳 慎也¹、居村 拓弥¹、若家 富士男¹、阿保 智¹、村上 勝久²、長尾 昌善² (1.阪大基礎工、2.産総研)

[16p-C43-8]

インデンテーション法を用いた樹脂材料の機械特性評価

○齋藤 彩有花¹、森 湧真¹ (1.三菱電機株式会社)

[16p-C43-9]

動き・温度・光を同時計測可能なマルチモーダルインタフェースの開発

○鈴木 大地¹、寺崎 正¹ (1.産総研SSRC)

[16p-C43-10]

有機圧電体を用いた共振型圧力・加速度センサの開発

○野田 祐樹¹、松原 州宏²、豊嶋 尚美¹、関谷 毅¹ (1.阪大 産研、2.山本電機製作所)

[16p-C43-11]

接着剤硬化過程の非破壊二次元モニタリング手法の開発

○藤巻 康人¹、古杉 美幸¹、井上 潤¹、富山 真一¹ (1.都産技研)

[16p-C43-12]

静電気発光材料を用いた静電気除電経路の可視化

○寺崎 正¹、坂田 義太郎¹、山浦 大地¹、菊永 和也¹ (1.産総研 センシング)

分光エリプソメトリーにおける複素屈折率の直接推定

Direct Estimation of Complex Refractive Index in Spectroscopic Ellipsometry

株式会社堀場製作所 °中谷仁, 薮下広高

HORIBA, Ltd., °Hitoshi Nakatani, Hirotaka Yabushita

E-mail: hitoshi.nakatani@horiba.com

【緒言】分光エリプソメトリーは、薄膜の光学特性を非破壊で高精度・高感度に測定できる技術である。一方で、光学特性を導出するには複雑な解析が必要となる。機械学習による解析の自動化が報告されているが [1]、測定波長域や波長分解能の違う結果には同じモデルが使えないなど、適応範囲が限定的である。本報告では、測定波長域や波長分解能に依らない自動解析のための複素屈折率の直接推定方法を提案する。

【手法】基板上的薄膜の複素屈折率(\mathbf{n}, \mathbf{k})を多段階で算出する。1 段目は、測定条件と測定結果(Ψ, Δ)から、波長ごとの薄膜の複素屈折率(\tilde{n}_i, \tilde{k}_i)を機械学習アルゴリズムにより推定する。2 段目は、得られた推定値をもとに、測定結果にフィッティングし正確な(\mathbf{n}, \mathbf{k})を得る。

機械学習の説明変数には、入射光波長 λ_i 、波長 λ_i における測定結果(Ψ_i, Δ_i)、基板の複素屈折率($n_{s,i}, k_{s,i}$)、膜厚予測値 d 、入射角 ϕ を用いた。目的変数は、薄膜の複素屈折率(n_i, k_i)とした。測定した波長全体を入力とせず波長ごとに推定することにより、測定波長域や測定波長分解能の違いに対応できる。また、学習データは実測でなく、光学計算によって生成することができる。

フィッティングでは、測定ノイズに過剰適合しないように波長ごとの残差に重みづけをした。

【結果】提案手法を Si 基板上的 HfO_2 膜を実測したデータにアルゴリズムを適用した。熟練者の解析と提案手法による屈折率を Fig. 1 に示す。提案手法では、膜厚は熟練者の解析結果を用いた。両者は平均二乗誤差(MSE) 9.027×10^{-4} で一致した。測定値(Ψ, Δ)と膜厚を $\pm 10\%$ 変化させたときの提案手法による計算値($\tilde{\Psi}, \tilde{\Delta}$)の MSE を Table.1 に示す。熟練者が解析した膜厚値で誤差が最小となっており、膜厚の最適化が可能であることを確認した。

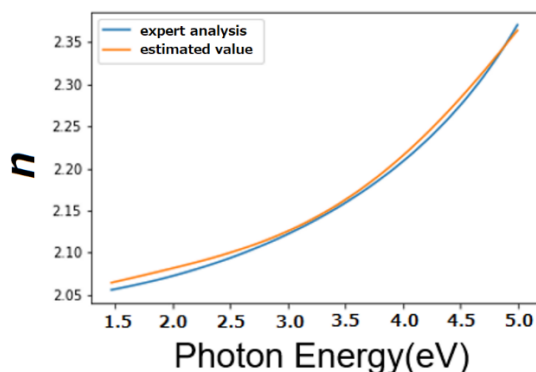


Fig.1 Comparison of expert analysis and automated estimation of the refractive index of HfO_2

Table.1 Fitting Error

膜厚(%)	膜厚(Å)	MSE
90	184.4	2.697×10^1
95	194.7	9.507×10^0
100	204.9	6.355×10^{-1}
105	215.1	1.839×10^1
110	225.4	1.615×10^2

[1] [Liu, J. C. et al. Machine learning powered ellipsometry. Light Sci. Appl. 10, 55 \(2021\).](#)

基板中の微小欠陥深さ推定技術の開発

Development of Depth Estimation Technique for Micro Defects in Substrates

産業技術総合研究所¹ ○山浦 大地¹, 坂田 義太郎¹, 寺崎 正¹

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology¹

○ Daichi Yamaura¹, Yoshitaro Sakata¹, Nao Terasaki¹

E-mail: yamaura.daichi@aist.go.jp

背景

CMP (Chemical Mechanical Polishing) は、研磨によってウェーハを平坦化する工程であるが、その研磨中にウェーハに意図しない欠陥が形成されることがある。それらの欠陥の大部分は、一般的な表面検査で検出できるが、中には内部に形成するために検出が難しい“潜傷”と呼ばれる欠陥が形成する場合がある。潜傷の検出法として、応力誘起光散乱法^{1,2}などの手法が報告されているが、半導体業界において、潜傷の“深さ”情報を高精度・高速に取得できる手法が望まれている。本研究では、ガラス基板内部に潜傷を模した欠陥を形成し、その欠陥深さを推定する解析技術の検討を行った。

検討方法

レーザー光により、ガラス基板内部に潜傷を模した欠陥を形成した。この形成された欠陥に対し、焦点を変えながら撮影した光学顕微鏡像を図1に示す。これらの画像に対し、物質検出とフィルタ処理という2つのアプローチにより解析を行った。物体検出では、物体を検出する輝度の閾値を制御することで、焦点が合った場合のみ欠陥を検出し、検出した物体の面積を算出した。フィルタ処理では、画像に二次微分フィルタをかけ、周囲との輝度変化が大きい部分をエッジとして捉え、画像全体の輝度変化の分散値を算出した。以上の結果を図2に示す。

図2より、検出した欠陥の面積(図2a)や輝度分散値(図2b)のピークが、それぞれ内部欠陥の深さ付近にあることがわかる。以上より、画像解析により算出した面積や分散値をフィッティングしたものにより、1枚の欠陥画像からその深さを推定できる可能性を示した。今後は、欠陥のサイズや数を変えた場合や、材料をSiとした場合についても検討を行っていく。



Fig.1 Image of defects in glass substrate

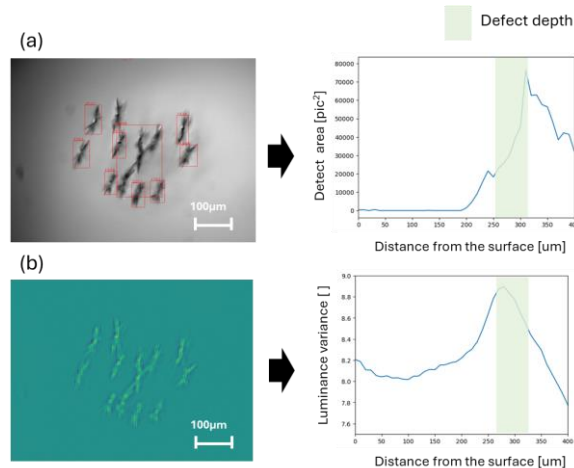


Fig.2 Image analysis approaches

(a) Object detection (b) Filtering process

参考文献

1. K. Sakai et al. Rev. Sci. Instrum. 82, 116103 (2011)
2. Y. Sakata et al. Rev. Sci. Instrum. 85, 083303 (2014)

液中微細材料の粒子径・密度分布評価

Particulate size and density distribution determination using resonant mass measurement method combined with asymmetrical flow field-flow fractionation

Method

産総研 ○加藤 晴久, 中村 文子

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),

○Haruhisa Kato, Ayako Nakamura

E-mail: h-kato@aist.go.jp

様々な領域で機能性材料として利用されている液中微細材料（ナノ・マイクロ材料）は顔料、食品、医療までの広い分野にわたって社会に大きな利便性をもたらしている。一方、このような実用化において単一材質で構成されている製品は存在せず、異なる材質の混ぜ合わせにより新たな特性を発する、または中空粒子中に薬物等をロードする、表面をコーティングする、などのハイブリッド材料が多数適用されており、このようなハイブリッド材料に基づく産物は既に化粧品や塗料材料、製薬を含む多くの実製品として展開されている。

このようなハイブリッド材料において、その機能性に左右するサイズ分布を評価する重要性はいうまでもないが、サイズ分布のみだけではなく、密度分布を評価できることは非常に意義がある。すなわち、異なる材質が混合している微細材料分散液中において、異なる材料それぞれにおけるサイズ分布ならびに密度分布を評価することは、コンポジット材料における各種材質混合量の推定や DDS 材料等の担持体の中空性評価、その中空担持体への薬物の注入量の評価、粒子材料へのコーティング層の見積もりなどを評価する一助となることは明確である。とくに各材料におけるサイズ分布ならびに密度分布を個数基準で評価することは製薬業界では非常に重要な技術であり、電子顕微鏡法等では困難である単一粒子や微細材料の（平均密度ではなく）密度分布計測を達成することは非常に困難な目標であることを考えると、当該評価法の確立は非常に意義ならびにニーズがある。

本研究ではこのような困難性を打破することを目的とし、流動場分離法と共振式質量測定法を組み合わせることで、新規に粒子径分布・密度分布の 2 つの物性の情報を同時且つ正確に取り出すことを可能とした計測技術を開発した。ICP による粒子や材料の組成評価は一般的であるが、粒子の密度分布評価は新規であり、本手法を利用することで有機高分子材料と無機材料の識別評価を可能とするだけでなく、前記コンポジット等における組成に依存した密度分布計測ならびに並行した粒子径分布計測を可能とすることから、実材料を想定された混合材料における新規の特性評価として重要な役割を果たすことが期待される。

- 1) H. Kato, A. Nakamura, J. Chromatogr. A, 2020, 1631, 5994.
- 2) H. Kato, A. Nakamura, S. Kinugasa, T. Fujimoto, Synthesiology. 2022, 1, 1.

試験槽における気体温度計校正の不確かさ評価の研究

A Study on Uncertainty Analysis for Calibration of Air Thermometer in Test Chamber

産総研 計量標準総合センター °石渡 尚也, 阿部 恒

National Metrology Institute of Japan (NMIJ), AIST, °Naoya Ishiwata, Hisashi Abe

E-mail: ishiwata.n@aist.go.jp

【序】産業界では、幅広い温度域における湿度制御・管理の高精度化が求められており、相対湿度で最大 1 %rh の精度が必要とされている。相対湿度は水蒸気量と気体温度とで定まり、相対湿度 1 %rh の実現には気体温度計の校正の標準不確かさを 25 mK 以下とすることが求められる。温度計校正において、液相中では不確かさ 10 mK 以下で校正する技術が確立されている一方、気相中では計量標準機関にとっても標準不確かさ 25 mK の実現は容易ではない。これは媒質の熱容量や熱伝導率が小さいために、高い温度均一性・安定性の実現が難しく、また液相では極めて小さな不確かさ要素である輻射等もその影響が増大することに由来する。そこで本発表では、高湿度標準発生装置の相対湿度試験槽を例に、温度 10 °C～80 °C における気体温度計校正の不確かさ評価の詳細について、液相での校正における不確かさとの比較を含め報告する。

【実験】相対湿度試験槽（図 1）は、高い温度安定性・均一性の実現を目指し、試験部と熱交換器、及びそれらの温度制御を担う恒温水槽からなる構造が採用されている。流量制御された乾燥空気は熱交換器で温度調整された後、参照用・校正用温度計の設置された試験部に流入する。それらの指示値 T_{ref} , T_{dut} の偏差 ΔT の標準不確かさ $u(\Delta T)$ は、以下の式で表される。

$$u^2(\Delta T) = u^2(T_{\text{ref}}) + u^2(T_{\text{dut}}) \quad (1)$$

ただし、 $u(X)$ は X の標準不確かさである。本評価では、式 1 中の各量の不確かさに寄与する多数の不確かさ要素をそれぞれ見積もり、合成することで $u(\Delta T)$ を評価した。

【結果】図 2 に、本評価で得られた参照用・校正用温度計の指示値とそれらの偏差の標準不確かさ $u(T_{\text{ref}})$ （青）、 $u(T_{\text{dut}})$ （黒）、 $u(\Delta T)$ （赤）を示す。

寄与の大きな $u(T_{\text{ref}})$ で支配的な不確かさ要素は試験槽内の温度分布であったが、高温側でも 14 mK 以下に抑えられた。また温度計の自己加熱は $u(T_{\text{ref}})$ 、 $u(T_{\text{dut}})$ とともに主要要素の 1 つで、液相での値の 4 倍程であった。加えて液相ではごく小さな要素である、温度計を介した外部への熱流出や輻射の影響は、高温条件では自己加熱と同程度に大きいと評価された。以上の結果、温度計校正の不確かさ $u(\Delta T)$ は温度範囲全域で 17 mK 以下となり、目標値 25 mK よりも小さな値が実現された。

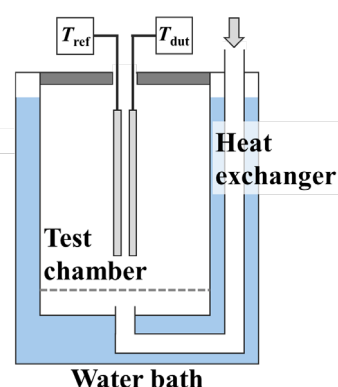


Fig. 1. Schematic diagram of the test chamber used in this study.

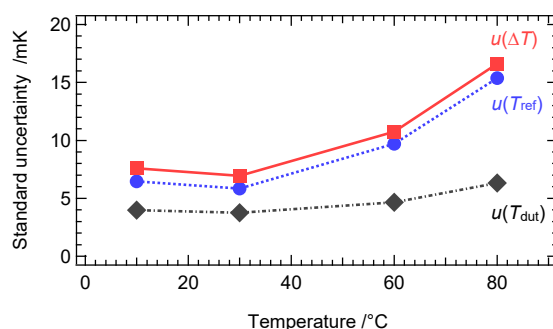


Fig. 2. Standard uncertainty of temperature measured with the reference and the tested thermometer $u(T_{\text{ref}})$ and $u(T_{\text{dut}})$, and standard uncertainty of their difference $u(\Delta T)$ evaluated in this study.

過熱水蒸気混合法と二圧力法を併用した広域湿度発生装置の開発

Development of wide-range humidity generator combining superheated steam mixing method
and two-pressure method

阪公大院¹, 産総研/計測標準² °伊與田 浩志¹, 坂元 千里¹,

山本 靖登¹, 増田 勇人¹, 田中 秀幸², 阿部 恒²

Osaka Metropolitan Univ.¹, NMIJ/AIST²

°Hiroyuki Iyota¹, Senri Sakamoto¹

Yasuto Yamamoto¹, Hayato Masuda¹, Hideyuki Tanaka², Hisashi Abe²

E-mail: h-iyota@omu.ac.jp

[緒言] 過熱水蒸気や高温の湿り空気は、電気・電子部品の加速耐久試験装置、食品や工業製品の製造に用いる各種オープンなどで広く利用されている。これらの装置では、庫内の湿度制御が行われないことが多く、性能向上と品質管理の観点から、湿度の計測が求められている[1]。そこで発表者らはこれまでに 200 °C を超える高温で利用できる湿度測定法を提案するとともに、精度評価のための湿度発生装置の開発を進めてきた。特に高湿度（高露点）域では、高温空気と過熱水蒸気の流量を測定し、それらを混合することで所定の湿度を発生させる過熱水蒸気混合法を提案してきた[2]。本報告では、これまでの試作装置を改造し、低湿度域での発生湿度の精度を向上させるため、過熱水蒸気を発生させるために用いている電気ボイラの底部から空気を吹き込むことにより、従来法である二圧力法[3]と併用する構造を考案し、その発生湿度の精度を検証した。

[実験装置と方法] 開発した試作装置に組み込まれている水蒸気発生用の小型電気ボイラ（ヒータ容量 1.5 kW）内の温度は、測温抵抗体、電力制御装置により制御することができる。また、空気は、冷凍機付コンプレッサからマスフローコントローラを介して試作装置に供給され、供給する空気をボイラの底部から吹き込む場合は二圧力法、過熱水蒸気と空気を混合する場合は過熱水蒸気混合法（分流法）となる。比較試験は、露点 0 °C～95 °C は校正済みの鏡面反射式露点計、露点 95 °C 以上は凝縮秤量法を用いた。発生気体の試験部での温度は、高温での過熱水蒸気や湿り空気の湿度測定が可能なセンサ等の精度検証を想定して 200 °C とした。

[結果と考察] 発生気体の湿度を鏡面反射式露点計あるいは凝縮秤量法による測定値を比較したところ、二圧力法で発生させた場合（露点温度 < 80 °C）は偏差 0.8 °C 以下であった。過熱水蒸気混合法で発生させた場合（露点温度 60 °C～100 °C）は、偏差は 0.5 °C 以下であり、GUM[4][5]に基づき求めた拡張不確かさも 0.5 °C 以下であった。

以上の結果から、大気圧下 200 °C において、露点温度 0 °C～100 °C を発生させることができる小型の湿度発生装置の試作、並びに、発生湿度の精度検証を行うことができた。

[謝辞]：本研究は JSPS 科研費 15K06114, 22K04127 の助成を受けた。

[参考文献] [1] 石渡尚也, 高湿度の計測と標準に関する調査研究, 産総研計量標準報告, Vol.10, No.2, pp.159-177 (2020) [2] 湯谷智, 吉岡秀矩, 伊與田浩志, 阿部恒, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 7p-A411-6 (2017) [3] 日本工業標準調査会, JIS B 7920, 日本規格協会, (2000). [4] 今井秀孝, 測定における不確かさの表現ガイド[GUM]ハンドブック, pp.20-50 (2018) [5] 田中秀幸, NMIJ 不確かさクラブ 不確かさ事例研究会 (第 3 次) 不確かさ評価事例集Ⅲ, (2017)

波長可変半導体レーザ吸収分光法による高温下での湿度測定装置の開発

Development of a humidity measurement device at high temperature

using tunable diode laser absorption spectroscopy

阪公大院¹, 産総研/計測標準² ○(M2)山本 靖登¹, 伊與田 浩志¹, 増田 勇人¹, 阿部 恒²

Osaka Metropolitan Univ.¹, NMIJ/AIST²

○Yasuto Yamamoto¹, Hiroyuki Iyota¹, Hayato Masuda¹, Hisashi Abe²

E-mail: h-iyota@omu.ac.jp

[緒言] 食品や農産物の加工, 材料製造などの分野で, 熱風として大気圧の空気のほか, 200 °Cを超える高温の過熱水蒸気や高湿度空気が利用されることがある. また, これらの装置内の湿度(水蒸気量)は, 材料からの水分蒸発や扉の開閉などによって湿度が時間的・空間的に変化することから, 装置の制御性向上のためには, 耐熱性, 時間応答性, 空間分解能に優れ, 幅広い湿度範囲で測定可能な湿度計測器の開発が求められる. そこで発表者らはこれまで, レーザ吸収分光法の一つである波長可変半導体レーザ吸収分光法(Tunable diode laser absorption spectroscopy; TDLAS)を用いた測定法及び装置の開発を行ってきた. 本報告では, 光路長が2 mmの反射型プローブを用いて, 200 °Cの乾燥空気から過熱水蒸気までの幅広い範囲での吸収波形計測実験を試み, 高温で広いレンジで湿度測定法としての適用性について検討した.

[実験方法] Fig.1 に示す反射型プローブ先端を200 °Cの気流中に設置し, 掃引周波数10 Hz, 光路長2 mm(投受光一体型の光ファイバー先端から反射板まで1 mm)で1392.53 nmの吸収線の吸収波形を測定した. 気流は0.002 ~1.0 mol/mol(1.0 mol/molは空気を含まない過熱水蒸気)とし, 吸収波形の検出には光源として10 kHzで変調した可変波長半導体レーザを用い, 受光信号のロックインアンプ出力を2f吸収波形とした.

[結果と考察] 結果の一例として, 気流湿度0.2 ~1.0 mol/molの条件で得られた2f波形をFig.2に示す. 湿度の上昇とともにピーク強度が低下し, スペクトルの半値幅が広がる波形が得られた. これは, 水蒸気分圧が増加して水分子同士の衝突による線広がりが大きくなり, 線幅拡大によるピーク強度の低下の効果が水密度増加によるピーク強度の増加よりも強く出たため, この濃度領域ではピーク強度の低下につながったと考えられる. この結果から, 本装置は, 高温かつ幅広い湿度域での湿度計測に利用

できる可能性が示された. また, 波形から湿度への変換方法の例として, 2f/4fPV法[1]を用いて, 2f/4fPV値と湿度の関係を示す近似関数を得ることができた.

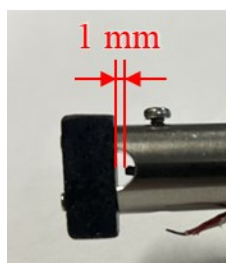


Fig.1 Tip of reflective fiber probe

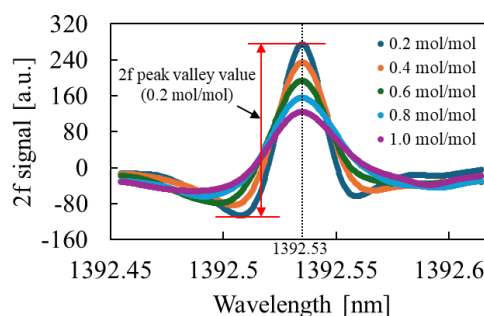


Fig.2 Measured absorption waveform (200 °C, 1 atm)

[謝辞] 本研究はJSPS 科研費22K04127の助成を受けた.

[参考文献] [1] Nishida, K., et al., ECS Trans., **80** - 8, (2017), 527-534.

磁気力顕微鏡を用いた非磁性体抵抗率計測の試料加振による感度の向上

Improvement of Sensitivity by Sample Vibration Excitation

in Resistivity Measurement for Non-Magnetic Material Using MFM

阪大基礎工¹, 産総研², ○岡本 一真¹, 大徳 慎也¹, 居村 拓弥¹, 阿保 智¹,

若家 富士男¹, 村上 勝久², 長尾 昌善²

Osaka Univ.¹, AIST², ○Kazuma Okamoto¹, Shinya Daitoku¹, Takumi Imura², Satoshi Abo¹,

Fujio Wakaya¹, Katsuhisa Murakami², Masayoshi Nagao²

E-mail: u329610i@ecs.osaka-u.ac.jp

我々は、磁気力顕微鏡(MFM)を用いて非磁性体試料を計測したとき、試料に流れた渦電流により発生した磁場からの力を検出することで、試料の抵抗率に依存した位相差の検出が可能であることを見いだした[1]。この現象は半導体の不純物濃度の非接触計測に応用できるが、現状では感度が低いことが課題である。そこで、高次の振動を用いた時の感度を理論的に検討した[2]。その結果、高次の振動を用いると周波数が大きくなり渦電流の発生量も増加するが、カンチレバーの実効的なばね定数も増加することで感度が下がることがわかった[2]。そこで、本研究では、カンチレバーだけでなく試料も振動させることにより渦電流を大きくし、1 次の振動を用いることによりバネ定数を増加させないことで、高感度化を実現することを目的とした。

図1に本研究で提案する計測法の模式図を示す。MFMの試料台に設置した piezo 素子に、位相変調器と振幅変調器を通した電圧を印加することで試料を加振する。試料を振動させることにより相対速度が増加し、渦電流が増加する。一方、カンチレバーのばね定数は変化しないため、感度が向上すると考えられる。ティップの運動方程式を考える際に、図2のようなモデルを考えた。試料の振動数を ω_s とし、ティップが磁場から受ける力を求め、ティップの変位の時間に関する微分方程式の解析解を求めた。解析解より、試料を振動させる周波数、振幅、位相が感度に与える影響について議論し、感度を最大にするパラメータを求めた。

本研究は JSPS 科研費 22H01498 の助成を受けたものです。

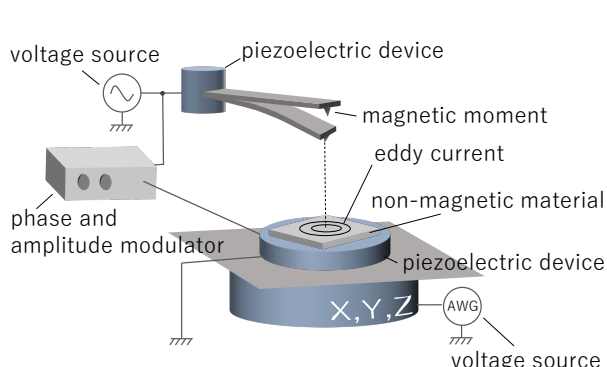


Figure 1: Schematic drawing of resistivity measurement for non-magnetic material.

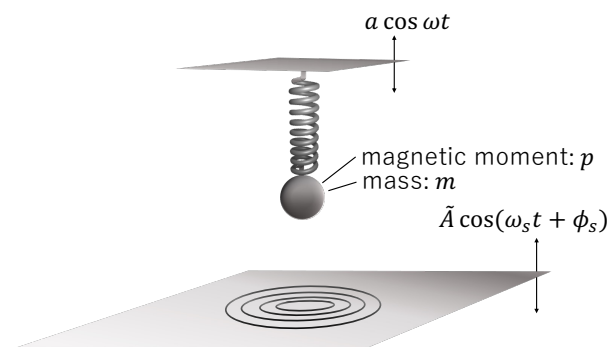


Figure 2: Model of resistivity measurement for non-magnetic material.

参考文献

[1]Fujio Wakaya *et al.*, Appl. Phys. Lett., **113** (2018) 261601.

[2]岡本 一真他, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, (2024) 24p-12C-5.

インデンテーション法を用いた樹脂材料の機械特性評価

Evaluation of Mechanical Properties of Plastics by Indentation Method

三菱電機¹, ○齋藤 彩有花¹, 森 湧真¹

Mitsubishi Electric Corporation¹, °Ayuka Saito¹, Yuma Mori¹

E-mail: Saito.Ayuka@bc.MitsubishiElectric.co.jp

【はじめに】 インデンテーション法とは、材料表面に微小な圧子の押込実験で得られる荷重-変位線から、ヤング率や硬さなどの機械特性を評価する方法である。ISO14577 で標準化されている評価方法は金属を対象とした内容であるため、本報では、樹脂材料に適用可能な評価方法について検討した。

【実験および結果】 実験装置は、Anton Paar 製マイクロインデンテーションテスタ MHT³を用いた。圧子は、樹脂材料の粘弾性が測定に与える影響を抑制するため、接触投影面積が常に一定である円柱圧子を用いた。円柱圧子は、直径 $a_0 = 100\mu\text{m}$ のタングステンカーバイド製であり、ヤング率は 700GPa, ポアソン比は 0.24 である。

円柱圧子の押込実験では、接触投影面積が一定であるため、押込荷重が増加するごとに Meyer 硬度 H_M および試料に発生する平面ひずみ ϵ' が増加する。本研究では、押込実験で得られる Meyer 硬度 H_M , 平面ひずみ ϵ' を用いて、式 (1), (2)により代表応力 σ , 代表ひずみ ϵ を算出した。

$$\sigma = \frac{H_M}{c} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\epsilon'}{(1-\nu^2)c} = \frac{1}{(1-\nu^2)c} \frac{2h}{\pi a_0} \quad (2)$$

ここで、 ν は評価材料のポアソン比、 h は押込実験における圧子の変位を表す。また、 c は定数であり、3.0-3.5 の値を取る¹⁾。本実験では、

$c = 3.0$ を用いた。

ABS 樹脂に対する円柱圧子の押込実験から、式(1), (2)を用いて算出した真応力-真ひずみ線を図 1 に示す。図 1 では、ダンベル試験片を用いた単軸引張試験の結果も示している。図 1 より、円柱圧子の押込実験で得られる真応力-真ひずみ線は、引張試験の結果とほぼ一致した。

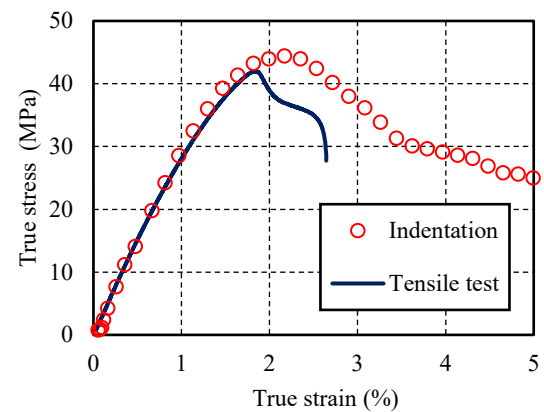


Fig.1 True stress-true strain curves for indentation and tensile testing.

【参考文献】

- 1) I. Dutta, C. Park, S. Choi, "Impression creep characterization of rapidly cooled Sn-3.5Ag solders", *Materials Science and Engineering, A*, No.379, p.401-410 (2004)

動き・温度・光を同時計測可能なマルチモーダルインタフェースの開発

Development of a multimodal interface for strain, thermal, and optical sensing

産総研 SSRC, °鈴木 大地, 寺崎 正

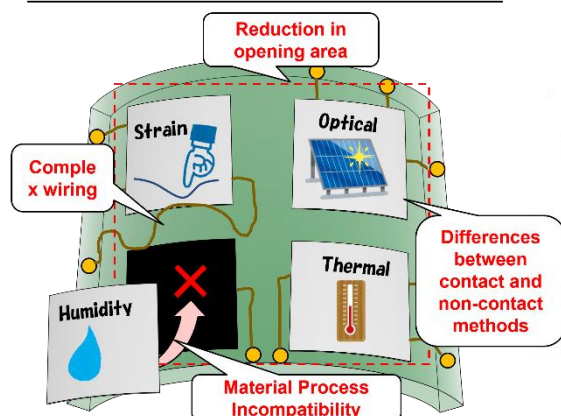
AIST SSRC, °Daichi Suzuki, Nao Terasaki

E-mail: daichi.suzuki@aist.go.jp

Society 5.0 の達成に向けた主要テーマとして、革新的なセンシング技術の開発が求められている。強力なセンシング応用を実現する際に重要となる手法が異なるセンシング技術の「融合」であり、例えば、人の指は接触点における圧覚・温覚・痛覚・触覚のマルチモーダルを同時に測定することで実現されている。そのため、指先の感覚をデジタル化するためには接触点での多情報計測を行うマルチモーダルインタフェースを開発する必要があるが、従来の異種センサー群を接触点に集積する方法では、各センサーの検出原理や材料が異なるために作製プロセスの不一致や配線の複雑化による集積難、開口面積の低下に伴う感度劣化といった問題が発生してしまう。すなわち、複数のセンシング技術を融合することで個々のセンシング技術が破綻してしまうという相反する課題を抱えているのである。

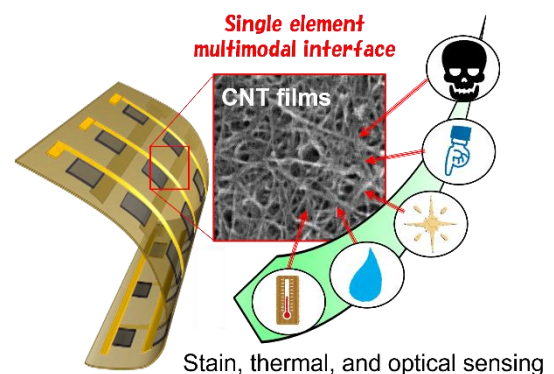
そこで本研究ではこの課題の解決にむけ、同一素子で複数の異なる情報を計測可能なマルチモーダルインタフェースの開発に取り組んだ。技術の核である信号分離のアルゴリズム開発とデバイス構造の最適化を通じて、同一素子で動き・温度・紫外・可視・赤外・THz 光を計測可能なマルチモーダルインタフェースを実現し、接触・温度を同時計測可能なタッチパネルや対象の素材・品質分析応用を達成した。本研究成果はサイバー空間とフィジカル空間を繋ぐインターバース端末として適用可能なことから、Society 5.0 の達成に強く貢献することが期待される。

Conventional multimodal interface



Difficult to integrate different materials

This work



Sensing multimodal inputs with a single element

Fig. 1. Conceptual scheme of the single-element multimodal interface for strain, thermal, and optical sensing.

有機圧電体を用いた共振型圧力・加速度センサの開発

Development of Resonant-type Pressure and Acceleration Sensors

Using Organic Piezoelectric

阪大産研¹, 山本電機製作所² °野田祐樹¹, 松原州宏², 豊嶋尚美¹, 関谷毅¹

SANKEN, Osaka Univ.¹, Yamamoto Electric Works Co., Ltd.²,

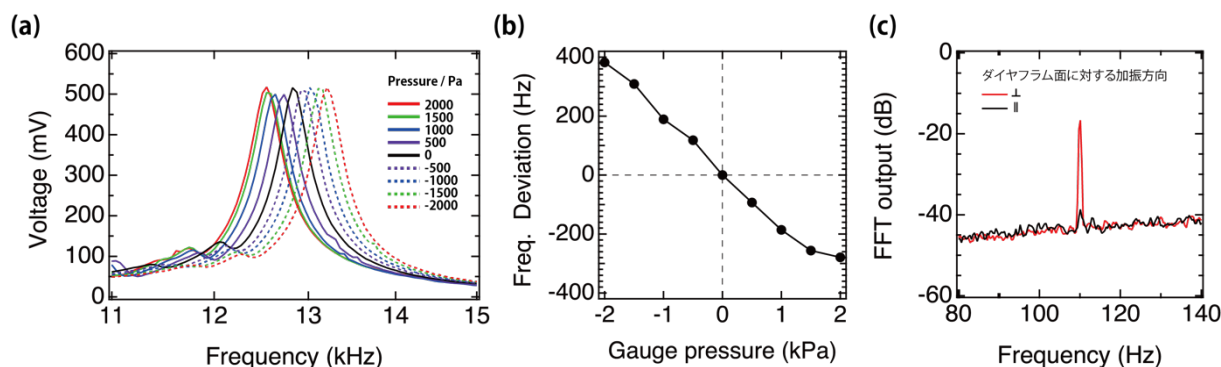
°Yuki Noda¹, Kunihiro Matsubara², Naomi Toyoshima¹, Tsuyoshi Sekitani¹

E-mail: noda@sanken.osaka-u.ac.jp

圧力センサや加速度センサは航空宇宙、自動車、医療、インフラモニタリングなど様々な産業分野でシステムの安全性や効率性を確保するために必要不可欠であり、ますますの小型化や低コスト化が期待される。このような機械的運動のセンシングにおいては、従来から圧電体の変形を利用した正圧電効果やピエゾ抵抗効果、MEMSの静電容量等の原理が用いられており、これらを複数組み合わせることで、圧力も加速度も計測できるシステムを構築できる。一方で一つのセンサで両方の物理量を計測できるセンシングデバイスはほとんど知られていない。

本研究では圧電体の逆圧電効果と正圧電効果を利用した共振型センサを開発し、これを用いてゲージ圧と加速度を計測することに成功したので報告する。ここでは有機圧電体である PVDF をダイアフラムに設置した3端子素子を作製した。素子は約 12 kHz において構造由来の共振周波数を有しており(図 a)、これは有限要素法による再現が可能であった。この共振点は ± 2000 Pa のレンジでゲージ圧を加えると $\Delta 500$ Pa 刻みで線形にシフトした(図 b)。また共振周波数は最大温度 60 度までほとんど変動が見られなかった。一方で同センサに 10 Hz-1010 Hz の周波数領域で加速度を与えるとその共振点の変動に由来する振動情報を復調することができた。加速度 1 m/s^2 - 10 m/s^2 の範囲で線形性を有し、さらに印加する加速度の方向を 90 度変えたときには約 $\Delta 20 \text{ dB}$ の信号強度差を確認でき、大きな異方性を有していることも明らかとなった(図 c)。

本研究は JSPS 科研費 20K20539、JR 西日本あんしん社会財団、大成学術財団の助成において得られたものである。



図(a)圧力センサの共振点の推移. (b)圧力センサの線形性. (c)加速度センサのFFT特性の一例. ここでは 110 Hz, 1 m/s^2 を印加した結果を示す。

接着剤硬化過程の非破壊二次元モニタリング手法の開発 Development of Non-destructive Two-dimensional Monitoring Method for Adhesive Curing Process

都産技研 ○藤巻 康人, 古杉 美幸, 井上 潤, 富山 真一

TIRI, ○Yasuto Fujimaki, Miyuki Kosugi, Jun Inoue, Shinichi Tomiyama

E-mail: fujimaki.yasuto@iri-tokyo.jp

【緒言】

ものづくりの現場において樹脂部品を接合する際には、接着剤による接合方法が多用されている。接着剤は、部品同士を簡単に接合でき、軽量、低コストなど環境性能にも優れている。特にシアノアクリレート系接着剤は、さまざまな種類の樹脂部品を短時間で強固に接着できるため、工業的な用途だけでなく家庭など身近な用途でも用いられている。しかしながら、一度部品同士を貼り合わせてしまうと、その後は外部から接着状況を視認することはできない。短時間で接着できるとはいえ、接着の評価は一部抜き取りによる接着強度検査や破壊検査などに頼らざるを得ない。本研究では、近赤外光の散乱現象を利用した新イメージング手法を開発し、樹脂部品を接合する際の接着剤の硬化過程を非破壊・非接触でモニタリングすることを試みた。

【実験方法】

ABS 樹脂板に市販のシアノアクリレート系接着剤を塗布し、「樹脂部品接合モデル」を作製した。接着剤の硬化が進む様子を外部から非破壊・非接触 (Fig. 1) のままリアルタイムで観察し、得られた画像を二値化処理し、判別画像を取得した。

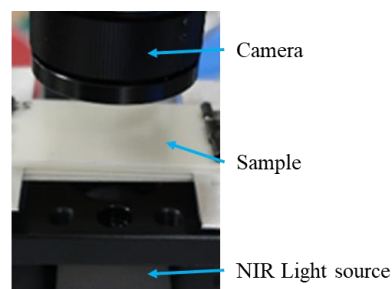


Figure 1 Monitoring by new imaging method.

【結果および考察】

近赤外光は樹脂や接着剤をよく透過するため、接合直後の接着剤は透明に見えていたが、接着剤の硬化が進むと黒く映る領域が次第に増えていた (Fig. 2)。これは、硬化に伴って接着剤が収縮し、き裂が生じたことにより、近赤外光がそのき裂の界面でのみ散乱し、結果として黒く映っている現象だと考えられる。本研究により、接着剤によって貼り合わせた後の樹脂部品であっても、新イメージング法を用いれば、接着剤の硬化状態（接着状況）を非破壊・非接触かつリアルタイムにモニタリングできることがわかった。

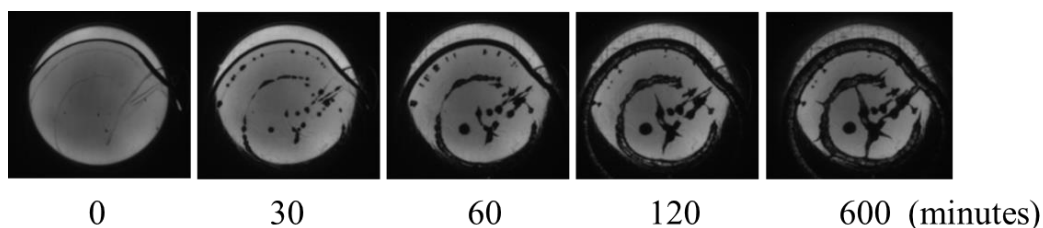


Figure 2 Image of adhesive curing process over time.

静電気発光材料を用いた静電気除電経路の可視化

Visualization of static electricity and the removal path using electricity induced luminescence (SEL) sensing material

¹産総研 センシングシステム研究センター

○寺崎正¹、坂田 義太郎¹、山浦大地¹、菊永和也¹

○Nao Terasaki¹, Yoshitaro Sakata¹, Daichi Yamaura¹, Kazuya Kikunaga¹

E-mail: nao-terasaki@aist.go.jp

静電気はよく知られた現象であり、多くの人にとっても、金属に帯電体(例えば帯電した人の指)を近づけたときのスパーク(静電気放電)を感じた経験があるだろう。ただ静電気評価に目を向ければ、従来の静電気センサは、表面に凹凸のある対象物は正確には測定できない。また、移動している状態や、測定環境が変化する状態での測定には対応できなかった。その中で我々は $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ の一部が空気中のイオンや帯電粒子などの微弱な電気に反応して発光する静電気発光(static electricity induced luminescence: SEL)材料として利用できることを世界で初めて見いだした。塗膜がセンサで、対象物と一体となるため、曲面や移動体に対処できると考えた。

実際、固相合成法にて作製された $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ を樹脂に分散添加した塗膜に、静電気発生ガン(放電ガン)からコロナ放電を照射すると、緑の発光が観測され(図 1)、表面電位センサで評価した帯電個所と一致していることから、静電気帯電に関する発光と結論付けている[1-2]。一方で、一般的な除電対策用の、導電線が印刷されたフィルムに、上述塗膜をスプレーしてSELセンサを形成させたのちに、静電気発生ガンからコロナ放電を照射すると、導電線印刷部分が選択的に

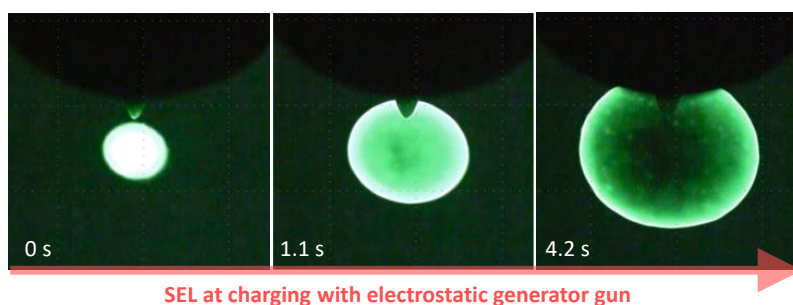


Fig. 1. Static Electricity induced luminescence (SEL)

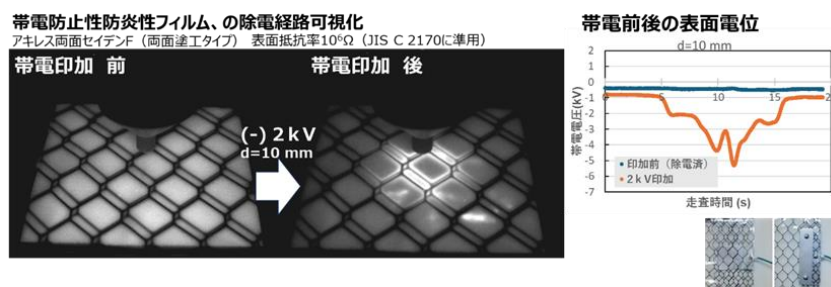


Fig. 2. SEL visualization of static electricity and the removal path.

静電気発光することが明らかになった。導電線印刷部は、除電経路設計であることもあり、表面電位計測の結果で低帯電になる事、更に放電ガンからの選択的な電荷の流入が推察される。この周囲より高い電荷密度が、選択的な静電気発光、ひいては発光パターン可視化に反映された、と考えている。本講演では、除電経路の静電気発光パターンによる可視化について、静電気発光に寄与する因子の考察を交えて紹介する。

謝辞: 本件の一部は、JST 研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム A STEP 産学共同(育成型) JPMJTR23T7 の支援を受けた。

[1] K. Kikunaga and N. Terasaki: "Demonstration of Static Electricity Induced Luminescence", *Scientific Reports*, **12**, 8524 (2022). <https://www.nature.com/articles/s41598-022-12704-5>

[2] 産総研プレスリリース: 目に見えない静電気分布を発光させることにより直接的な可視化に成功 (2022/6/2)

(動画視聴可) https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220602/pr20220602.html

1 応用物理学一般 | 一般セッション(口頭講演): 1.6 超音波

[17p-C43-1~17] 1.6 超音波

[17p-C43-1]

頸動脈波計測による動脈硬化スクリーニング手法の検討

○(M1C)池田 智哉¹、秋吉 恒輝¹、松川 真美¹ (1.同志社大理工)

[17p-C43-2]

人工血管中の動脈瘤モデル近傍での血流速度評価

○(M1C)秋吉 恒輝¹、池田 智哉¹、松川 真美¹ (1.同志社大理工)

[17p-C43-3]

100MHz帯の高強度超音波によって誘起される不均一屈折率場中の光伝搬解析

○(DC)原田 裕生¹、石河 睦生²、松川 真美¹、小山 大介¹ (1.同志社大理工、2.桐蔭横浜大医用工)

[17p-C43-4]

弾性波による液滴搬送の制御に関する検討

○(M2)長尾 匠真¹、近藤 淳¹ (1.静岡大)

[17p-C43-5]

小型ベクトルネットワークアナライザを用いた横波型弾性表面波センサの信号処理手法の検討

○柴田 慶一郎¹、近藤 淳¹ (1.静岡大)

[17p-C43-6]

レーザ超音波法とレーザ誘起ブレイクダウン分光法による物質推定技術の検討 (2)

○李 英根¹、北澤 聡¹ (1.日立研開)

[17p-C43-7]

高繰返しエキシマレーザ用吸音材の吸音率シミュレーションの開発

○小川 拓也¹、佐々木 陽一¹、田中 誠¹、堀 司¹、柿崎 弘司¹、山本 崇史² (1.ギガフォトン (株)、2.工学院大学)

[17p-C43-8]

圧電振動子のインピーダンス変化を利用した流速測定法

○呉 沢農¹、原田 裕生¹、小山 大介¹ (1.同志社大理工)

[17p-C43-9]

超音波パルスエコー法を用いたScAlN、AlN、ZnO膜の機械的 Q_m 値評価手法○(M2)島野 耀康^{1,2}、柳谷 隆彦^{1,2} (1.早大先進理工、2.材料技術研究所)

[17p-C43-10]

直線集束ビーム超音波材料解析システムによるScAlN薄膜の評価

○大橋 雄二¹、櫛引 淳一¹、戸津 健太郎¹、花井 彩香²、勝又 彩馨²、柳谷 隆彦²、竹野 広晃³、伊東 孝洋³ (1.東北大、2.早稲田大、3.GEOMATEC)

[17p-C43-11]

ScAlNとSiAlNの積層による2層分極反転薄膜の形成とBAW特性評価

○(M2)福永 慶¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大学)

[17p-C43-12]

ScAlN薄膜を用いた分極反転多層構造SMRによる二重モード型BAWフィルタ(DMB)

○(M1)松村 桃佳^{1,2}、柴田 真之^{1,2}、柳谷 隆彦^{1,2} (1.早大先進理工、2.材料技術研究所)

[17p-C43-13]

RFスパッタリングにより成膜された一軸配向(K,Na)NbO₃膜の不活性層に関する検討

○(M2)中山 雄太¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大)

[17p-C43-14]

LiTaO₃薄板/低抵抗SiC構造におけるSH₁モード板波共振特性の解析

○渡邊 紀之¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大)

[17p-C43-15]

LiNbO₃/SiO₂/SiC構造上の縦型漏洩弾性表面波特性の解析

○武居 諒¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹、山本 泰司² (1.山梨大、2.山本エイデック)

[17p-C43-16]

LiNbO₃/Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄接合構造上の縦型漏洩弾性表面波共振特性の解析

○(M1)小林 祐哉¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹、木村 悟利² (1.山梨大、2.Piezo Studio)

[17p-C43-17]

周期的空隙を有する圧電基板上のA₁モードラム波共振特性の解析

○(M1)小林 駿平¹、鈴木 雅視¹、垣尾 省司¹ (1.山梨大)

頸動脈波計測による動脈硬化スクリーニング手法の検討

Screening techniques for arteriosclerosis by pulse waves at the carotid artery



同志社大理工, ^{○(M1C)}池田 智哉, 秋吉 恒輝, 松川 真美

Doshisha Univ., ^{○(M1C)} Tomoya Ikeda, Kouki Akiyoshi, Mami Matsukawa

E-mail: ctwk0308@mail4.doshisha.ac.jp

1. はじめに

脳動脈硬化症の早期発見のため、頸動脈波（血管内の圧力による皮膚表面の変位^[1]）に着目した。脈波計測のため安価かつ小型で、簡易なシステムを超音波センサを用いて開発した。脈波に含まれる脳からの反射波は年齢と相関があり、血管の硬さに応じて変化することが報告されている^[2]。つまり、年齢により脈波波形が変化する傾向を分析し、その特徴を把握できれば、異常な動脈硬化のスクリーニングができる可能性がある。ただし、脈波は動脈だけでなく、心臓から拍出される血流によっても変化する。そこで、本研究では年代ごとに頸動脈の脈波と血流波形の変化を検討し、加齢や動脈硬化に伴う脈波波形の特徴量抽出を目指す。

2. 測定方法

被験者は循環器疾患の既往歴がなく、高血圧剤を服用していない20代から60代の健常者46名である。仰臥位で安静にした後、左の総頸動脈波を圧電センサ(MA40E7R, Murata Corp.)を接触させて測定した。また超音波診断装置(LOGIQ-e, GE Healthcare Corp.)のドプラ機能を用いて血流速度波形も測定した。これらは同志社大学の倫理審査委員会の承認を得て行った。

3. 結果及び考察

図に20代と60代の波形を示す。両波形は若者と高齢者で大きく異なった。各波形は収縮期に第1、第2ピークが、拡張期に第3ピークが観測される。各ピークをガウスフィッティングしたところ、血流速度、脈波ともに第3ピークの変化は小さかったが、第2ピークは年齢と共に大きくなった。また、図のように高齢者の脈波では第2ピークのばらつきが大きい。各年代の平均波形との分散 σ^2 を求めたところ、血流速度波形の σ は20代、60代ともに小さく、これは心臓のポンプ機能に個人差が小さいことを示した。しかし、脈波の第2ピークは、脳動脈の末端からの反射波で血管硬さを反映し、特に60代で個人差が大きかった。このように脈波波形の特徴量を調べるこ

とにより、血管の硬化をスクリーニングできる可能性がある。今後は被験者数を増やし、新たな脈波、血流波形の特徴量を見出して、老化による動脈硬化の指標の確立を目指す。

Fig. 1 Waveforms (20s)

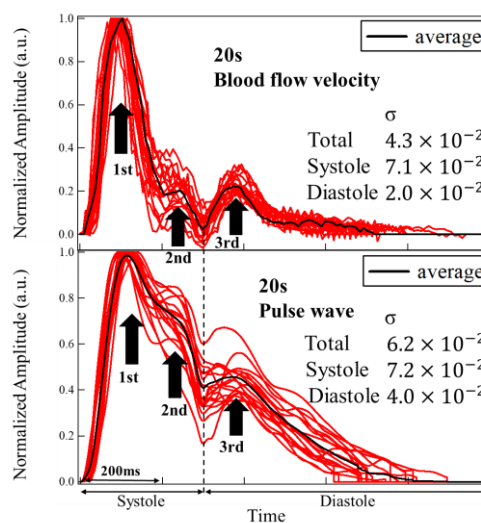
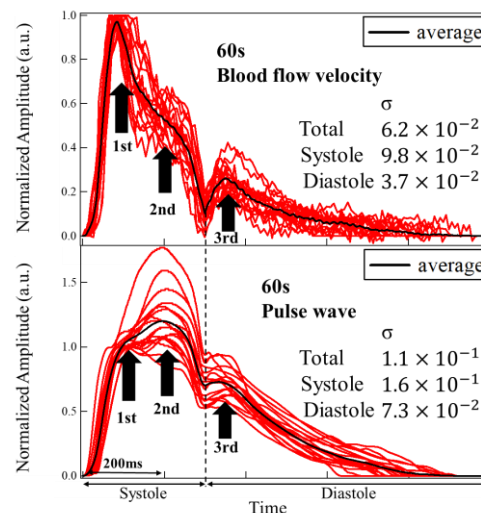


Fig. 2 Waveforms (60s)



参考文献

- [1] J.P. Murgu, et al.: JAHA 63, 105–116 (1980).
- [2] M. Saito et al.: IEEE TUFFC. 59 (2012) 2411.

人工血管中の動脈瘤モデル近傍での血流速度評価

Evaluation of flow near aneurysm at a cerebral artery model

同志社大理工, ○(M1C)秋吉 恒輝, 池田 智哉, 松川 真美

Doshisha Univ., °(M1C) Koki Akiyoshi, Tomoya Ikeda, Mami Matsukawa

E-mail: ctwk0302@mail4.doshisha.ac.jp



1. はじめに

我々は安価な超音波センサを用いた頸動脈波計測装置を開発し、脳動脈閉塞のスクリーニング技術開発を進めてきた[1]。閉塞により、頸動脈波に脳内からの正の反射波が含まれることを示した。本報告では脳動脈瘤に着目する。動脈瘤をもつ模擬血管を作製し、血管内の圧力波に加え、動脈瘤付近の流速を超音波ドプラ (US) と粒子画像流速測定法 (PIV) で計測し、頸動脈波への影響を確認した。

2. 実験方法

シリコンゲル (Momentive Performance, TSE3062, TSE3450) を混合して作製した模擬血管 (全長 4650 mm, ヤング率 150kPa (高齢者の血管相当)) に心臓を模擬し、正弦波状の圧力波を吐出するポンプ (トミタエンジニアリング) を接続した。ポンプから 2350 mm の位置に同じシリコンゲルで作成した最大内径 30 mm, 瘤壁 1 mm, 頸部 6 mm の球形動脈瘤を挿入した。模擬血管内の流速を US (LOGIQ-e, GE Healthcare Corp) と PIV (k8-USB, Kato-Koken) で計測した。頸動脈位置 (ポンプから 310 mm) での血管内圧力波も計測した。

3. 結果および考察

PIV で測定した動脈瘤頸部付近での流れを Fig.2 に示す。頸部付近では不均一な流れが見られた。Fig.3 は、US は動脈瘤頸部での動脈瘤に入っていく方向 (Y 軸方向) の流速波形、PIV は動脈瘤頸部の中心付近 4 mm 以内の計 5 点の Y 軸負方向 (動脈瘤に流れ込む方向) の

流速の平均波形である。

これより臨床用 US と PIV の流速波形の概形は類似し、動脈瘤への流れが確認される。この脳動脈瘤への流れにより、頸動脈部の圧力波には負のピークが観測される。血管内圧力波による皮膚表面の変位が脈波である。圧力波の負のピークは心臓からの入射圧力波の 20% 程度に達し、大きな動脈瘤は臨床で頸動脈波の変化として計測できる可能性があることを示している。

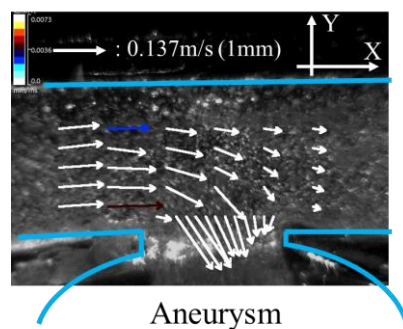


Fig.2 Flow at aneurysm neck.

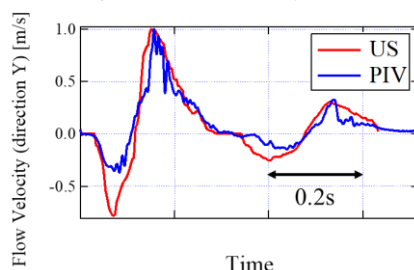


Fig.3 Flow velocity waveforms in US and PIV.

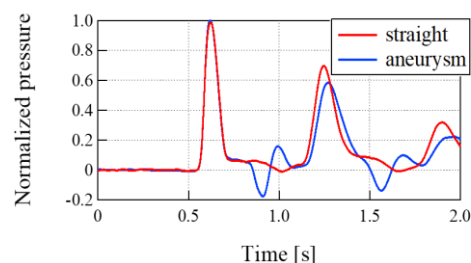


Fig.4 Pressure wave

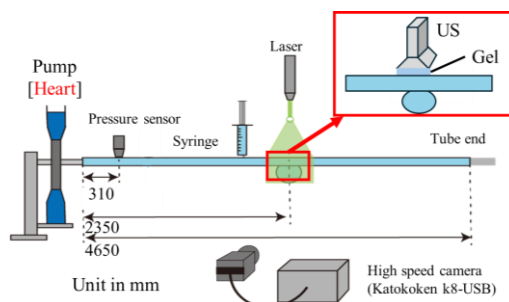


Fig.1 Experimental system used.

参考文献

[1] M.Saito, et al. IEEE TUFFC, 59, 2411, 2012.

100 MHz 帯の高強度超音波によって誘起される不均一屈折率場中の光伝搬解析

Analysis of light propagation in inhomogeneous refractive-index field induced by high-intensity ultrasonic irradiation in the 100-megahertz range

同志社大理工¹, 桐蔭横浜大医用工² (DC) 原田 裕生¹, 石河 睦生², 松川 真美¹, 小山 大介¹

Doshisha Univ.¹, Tooin Univ. of Yokohama², [○]Yuki HARADA¹, Mutsuo ISHIKAWA²,

Mami MATSUKAWA¹, Daisuke KOYAMA¹ E-mail: dkoyama@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

先行研究にて, 100 MHz 帯の高強度超音波を水中に照射した際に, 巨大な静的屈折率勾配 (Δn : 10^{-2} オーダ) が誘起されることを発見した^[1]. そして光ファイバセンサを用いた定量的な屈折率変化の測定を試みたが, 音響流の影響により 3 次元的な測定が困難であった. そこで本報告では, 先行研究の実験結果に基づいて設計した屈折率勾配モデルを用いて, 屈折率勾配に対して入射したレーザ光の軌跡変化に関する光伝搬シミュレーションを実施した^[2].

2. 実験条件

光伝搬シミュレーションでは, 実験で用いたレーザ光のビーム径 (FWHM : 0.6 mm) を考慮し, 屈折率勾配を透過した後のスクリーン上 ($L = 730$ mm) におけるレーザ光の軌跡変化 (Δd) を求めた. シミュレーション条件として, 屈折率勾配への入射位置に対するレーザ光強度の最大位置を変化させた際のレーザ光強度分布を算出し, 実際の実験結果と比較した.

3. 実験結果および考察

Fig. 2 は, 光伝搬シミュレーションで得られたレーザ光強度の最大位置が $y = 1.1$ mm の条件で屈折率勾配に対して入射したレーザ光の軌跡変化を示している. 結果より, デフォルト位置 ($\Delta d = 0$) からの距離が長くなるに従って, レーザ光強度が指数関数的に減少する傾向が見られた. これは実験にて観測された傾向と一致していた. 以上より, シミュレーション結果

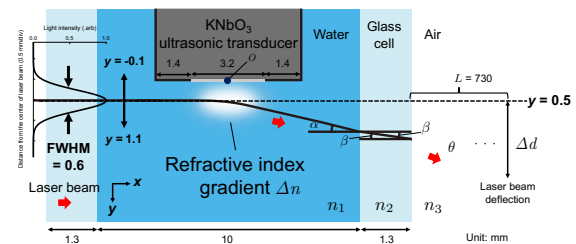


Fig. 1 Simulation model of laser beam propagation incident on a refractive-index gradient induced in water by ultrasonic irradiation.

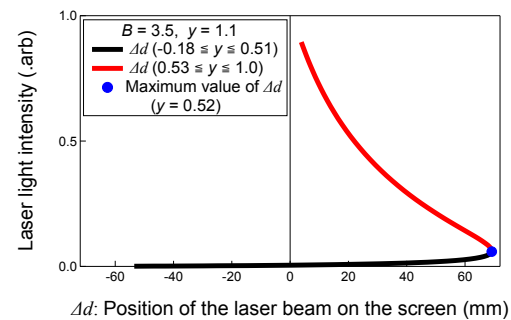


Fig. 2 Change in the light-intensity distribution of the incident laser beam projected on the screen.

と実験結果の傾向がよく一致したことから, 今回設計した屈折率勾配モデルが, 実際の屈折率勾配中を伝搬するレーザ光の軌跡を解析する際に有用であることが示された.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (23KJ2074, 22H01391) および立石科学技術振興財団の助成を受けたものである. ここに感謝の意を表する.

参考文献

- [1] Y. Harada et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 124, No. 1, p. 028002 (2024).
- [2] Y. Harada et al., J. Appl. Phys. Vol. 135, No. 19, p. 193104 (2024).

弾性波による液滴搬送の制御に関する検討

Study on control of droplet manipulation by elastic waves

静岡大¹ [○](M2)長尾 匠真¹, 近藤 淳¹

Shizuoka Univ.¹, [○]Shoma Nagao¹ and Jun Kondoh¹

E-mail: kondoh.jun@shizuoka.ac.jp

1. 序論

医療・バイオ分野において大量のサンプルを手作業で検査をしているため、検査の効率化や実験の省スペース化の観点から 1 つの基板上に搬送・混合・分析といった機能を集積させたマイクロ流体システムが求められている。弾性表面波(surface acoustic wave : SAW)デバイスを用いた方法では、搬送と同時に混合や加熱を行うことができるという利点がある。しかし、圧電基板は高価であるため、圧電結晶を用いた使い捨てのデバイスの実現は困難である。そこで、ガラス/水層/圧電結晶構造(三層構造)のデバイスを使用する⁽¹⁾。IDT から発生した SAW は水層中に縦波を放射する。放射された波はガラスに音響波を発生させる。したがって、ガラス上の液滴に縦波を励起する。そのため、本研究の目的は三層構造デバイスとセンサを組み合わせたシステムを実現することである。しかし、弾性波を利用した液滴搬送では液滴の形状が変化することで、液滴が曲がって進みセンサ上に搬送できないこと、高い精度で液滴の分析が行うことできない問題がある。そのため本研究では、ガラス上に SLIPS(Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces)加工を施し、液滴搬送の直進性について検討した。

2. 実験系

本研究で用いた実験系を図 1 に示す。本研究の三層構造では圧電結晶 $128^\circ\text{YX-LiNbO}_3$ と蒸留水 $5\mu\text{L}$ とガラス(Matsunami : 厚さ 0.4mm)を使用した。図 1 に示すように、印加電力 1.2W で $2\mu\text{L}$ の液滴を搬送したときの様子をビデオカメラで撮影した。液滴の移動距離と IDT の法線方向と液滴の中心がなす角度を測定し、液滴搬送の直進性を評価した。

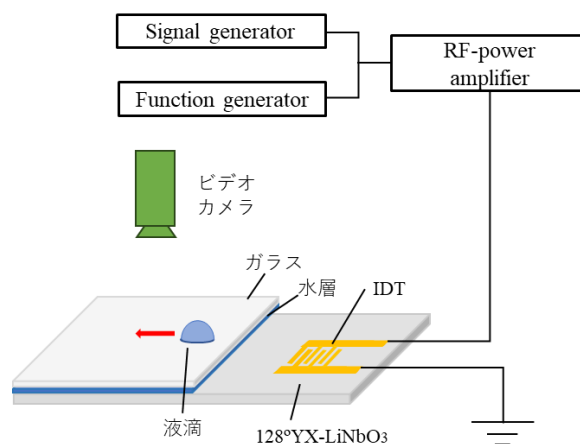


図 1 実験系

3. 結果と検討

図 2 に液滴搬送の直進性の結果を示す。実験結果より角度の変化は 1° 以下と小さく、直進することが分かった。この結果から SLIPS 加工を施すことで液滴をセンサ上への搬送が可能であるといえる。また、複数の液滴を制御するため 1 つの圧電結晶上に異なる伝搬方向の IDT を作製し液滴の制御について検討する。

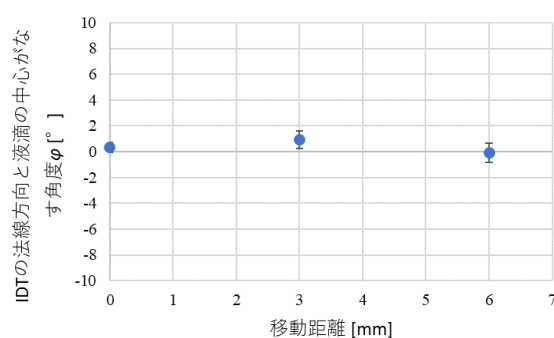


図 2 液滴搬送の直進性

参考文献

- (1) N. Yasuda, et al. Jpn. J. Appl. Phys. vol. 48, 07GG14 (2009).

小型ベクトルネットワークアナライザを用いた 横波型弾性表面波センサの信号処理手法の検討

Study on signal processing methods of shear horizontal surface acoustic wave sensor measurement system using compact vector network analyzer

静岡大¹ ○(M2) 柴田 慶一郎¹, 近藤 淳¹

Shizuoka Univ.¹, ○Keiichiro Shibata¹ and Jun Kondoh¹

E-mail: kondoh.jun@shizuoka.ac.jp

1. 序論

SH-SAW センサの測定系には測定系の小型化や測定の簡易化が求められる。先行研究では、発振回路を利用した小型測定系開発や、オンライン信号処理を含む検討が実施されてきた[1, 2]。しかし、測定にはセンサの周波数に応じた発振回路を用意しなければならないという課題があった。近年、小型かつ安価なネットワークアナライザが容易に入手できるようになった。こちらは小型であり周波数を変えても測定できるといった利点を有する。本研究では Nano vector network analyzer (Nano VNA, HCXQS) を用いて測定を行った。また、用いるセンサの周波数によってはノイズの影響により測定が困難な場合がある。そこで、信号処理の手法についても検討を行った。

2. 実験方法

本研究では圧電基板が 36° YX-LiTaO₃ の SH-SAW センサを使用した。中心周波数は 155 [MHz] である。測定の様子を図 1 に示す。Nano VNA に SH-SAW センサを接続した。Nano VNA は USB により PC で制御した。基準溶液として蒸留水を、試料溶液としてグリセリン水溶液 10 [wt%], 20 [wt%], 30 [wt%], 40 [wt%], 50 [wt%] を用いて、これらの液体を SH-SAW センサ上に滴下したときの周波数特性を Nano VNA で測定し、中心周波数における振幅比を求めた。



図.1 実験系

3. 信号処理

Nano VNA の測定によって得られた複素 S_{21} の実部と虚部に対して、逆高速フーリエ変換 (IFFT) を施

した。振幅の時間応答に対して、応答個所以外に窓関数を用いてカットした。そして、このデータに対してフーリエ変換 (FFT) を施した。得られた結果を数値解析[3]と比較を行った。測定結果を図 2 に示す。結果より、信号処理を行うことで振幅比の値が数値解析の値に近づいていることがわかる。

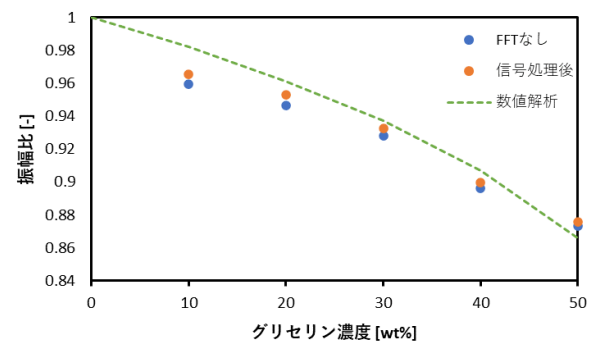


図. 2 振幅比

4. 結論

本研究で得られた結果から、SH-SAW センサの測定データに対して信号処理を行うことで、測定精度が向上することが明らかになった。本研究では通過特性について着目したが、今後は反射型 SH-SAW センサを用いて反射特性の測定に応用する。

参考文献

- [1] J. Kondoh, et al., Sen. & Act. B, 92, 191-198 (2003).
- [2] N. Maekawa, et al., Jpn. J. Appl. Phys., 60, SDDC02 (2021).
- [3] J. J. Campbell and W. R. Jones, IEEE Trans. Sonics and Ultrason., SU-15, pp. 209-217 (1968).

レーザ超音波法とレーザ誘起ブレイクダウン分光法による 物質推定技術の検討 (2)

Study of material identification with laser ultrasonic technology and laser-induced breakdown spectroscopy (2)

Hitachi, Ltd. R&D Group, °Yong Lee, So Kitazawa

E-mail: yong.lee.ak@hitachi.com

1. はじめに

我々は、遠隔で物質特性（元素成分とその成分比、密度、硬さなど）を直接計測できる技術として、光ファイバ伝送をベースにしたレーザ超音波法(LUT)とレーザ誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)を統合した計測システムの検討を行っている[1],[2]。これまで我々は、硬さを評価する新しい測定方法として、LUT による表面変位の回復時間を利用する方法が有効であることを単体の物質を用いて示した[1]。また、LUT と LIBS を組み合わせることで元素成分に加えて元素成分比の情報を得ることができることを示した[2]。そこで、今回は、上記硬さ測定法を混合物に適用した。また、LUT と LIBS の統合システムに必要な高出力レーザの光ファイバ伝送方式を検討した。

2. 実験方法

まず、硬さ測定では、サンプルとして、金属、セラミックスとコンクリートからなる 4 種類の混合物を用いた。レーザで誘起された表面変位の時間変化を観測し、その表面変位の回復時間を求めた。

高出力レーザの光ファイバ伝送に関しては、高出力レーザをマルチモードファイバで伝送し、結像光学系をベースにした縮小光学系により被測定物 (SUS) に集光し、レーザ誘起の超音波を発生させて、光ファイバベースの受信器でその超音波信号を測定した（即ち、全光ファイバ伝送 LUT）。

3. 実験結果

Fig. 1 に、各混合物(Compound 1~4)に対して測定された表面変位の回復時間と各混合物のヤング率の関係を示す。前回測定した単体の結果も示す。混合物に対しても、回復時間と硬さの指標のヤング率との間に単体と同様、負の相関があることが分かる。

Fig. 2 には、光ファイバ伝送された高出力レ

ーザで誘起された超音波の波形を検出した結果を示す。空間伝送された高出力レーザと同レベルの強度の超音波信号が得られた。

4. 参考文献

- [1] 李 等, 2022 年秋季応用物理学会 22p-C105-3.
- [2] 李 等, 2023 年春季応用物理学会 17a-D505-3.

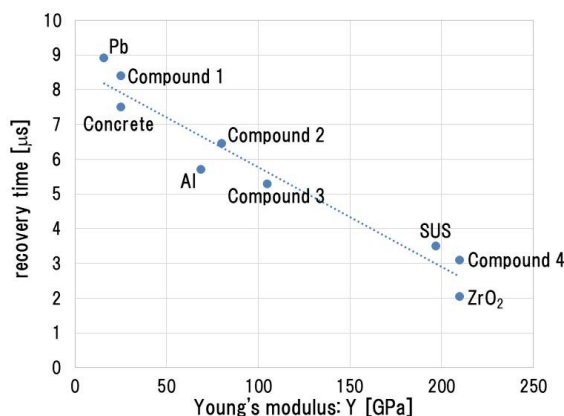


Fig. 1 Measured recovery times of surface displacements as a function of Young's modulus for various materials.

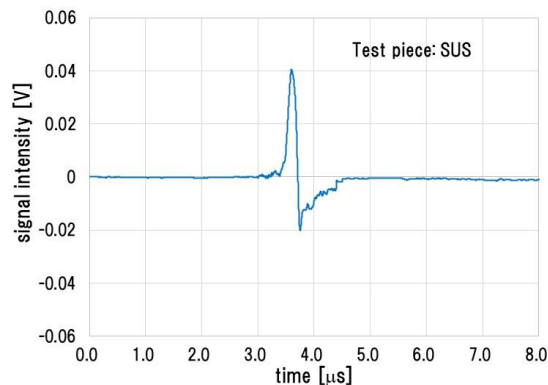


Fig. 2 Measured temporal laser-induced ultrasonic wave using all-fiber laser ultrasonic testing system.

高繰返しエキシマレーザ用吸音材の吸音率シミュレーションの開発

Development of Sound Absorption Coefficient Simulation of Sound Absorbing Materials for High Repetition Rate Excimer Lasers

ギガフoton株式会社¹, 工学院大学² ○小川拓也¹, 佐々木陽一¹, 田中誠¹, 堀司¹,
柿崎弘司¹, 山本崇史²

Gigaphoton Inc.¹, Kogakuin Uni.², °Takuya Ogawa¹, Youichi Sasaki¹, Makoto Tanaka¹, Tsukasa
Hori¹, Kouji Kakizaki¹, Takashi Yamamoto²

E-mail: takuya_to_ogawa@global.komatsu

放電励起エキシマレーザは、半導体露光装置の光源として使用されており、スループットの向上を目的とした繰返し数 6kHz を超える高繰返し化が要求されている。その際に放電により発生された放電音 (60kHz) は、チャンバ内の壁面で反射しレーザ発振領域に再到達することが問題となる。音波は音の粗密であるため、レーザ発振領域に粗密が発生してしまいレーザの光品質を劣化させる。【1】その対策としてチャンバ内に吸音材を設置しておりその最適化が必要となっている。60kHz の高周波数領域における吸音率のシミュレーションは一般的ではない。そこで本試験では、可聴領域で使用されている吸音率シミュレーションを 60kHz の超音波領域に拡張し、その妥当性を検証した。初めに吸音率計算を均質化法によるマルチスケールシミュレーションで実施した。吸音材として住友電工製の多孔質材セルメットの微細形状をモデリング化し 60kHz までのシミュレーションを行った。妥当性を判別するために、図 1 に示す試験系を構築し、エキシマレーザ放電を模擬した音源によるセルメットの吸音率の計測を行った。放電領域に対向してリオン製 1/4 inch マイクロフォンを設置し吸音材の有無での放電音を計測した。図 2 に吸音材の有無による放電波形の代表例を示す。この時の結果では、ファーストピークの吸音率は 54% であった。これに対し計算では、吸音率 60% であると計算され、良い一致を見せた。これにより可聴領域の吸音材シミュレーションは放電音 (60kHz) の高周波領域に対しても実施可能であることを明らかにした。当日は孔径の異なる多孔質吸音材について発表する予定である。

参考文献：【1】 Feasibility study of 6 kHz ArF excimer laser for 193 nm immersion lithography, T. Hori et al, Proc. of SPIE, Optical Microlithography XVIII, 5754-140, 2005

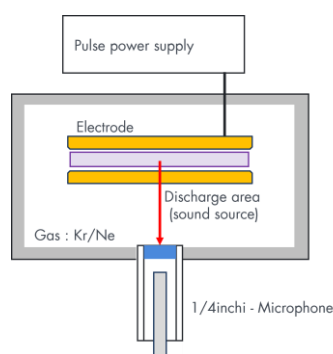


図 1. 試験系の概念図

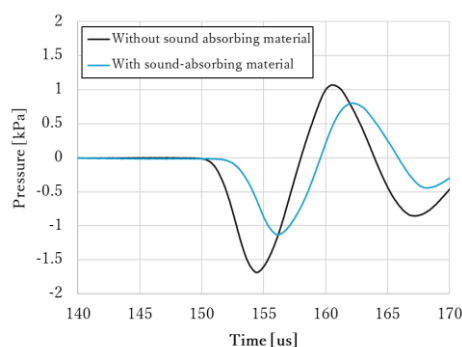


図 2. 吸音材の有無による放電音波形の変化

圧電振動子のインピーダンス変化を利用した流速測定法 A method for flow rate estimation using electrical impedance changes of piezoelectric material

同志社大理工, 呉沢農, 原田裕生, 小山大介

1. はじめに

超音波を用いた流速測定装置は、2つのセンサ間の超音波伝搬時間差を利用する単純かつ安価な構成で、流路に影響を与えることなく流速を測定できるため、様々な産業分野で用いられている。しかしながら、複数のセンサを必要とするため装置が大型化し、超音波伝搬経路の流速分布を考慮する必要がある。本報告では、流体の流速変化に伴う境界層の変化を圧電振動子の電気的特性の変化によって評価することにより、単一のセンサのみで流速を測定する方法を提案した。その原理検証のため、センサである圧電振動子の電気アドミタンスと水の流速の相関性を計測した。

2. 単一センサによる流速測定

提案手法では、単一の圧電振動子を流路外側に接触させ流路内の流速を測定する。流路内の流速変化に伴い、流路内壁近傍の境界層厚さが変化するため、圧電振動子に対する機械的負荷が変化する。これによって、圧電振動子の電気アドミタンスが変化することから流速の測定が可能となる。本手法では、従来手法における伝搬時間差推定のための相互相関関数の計算が不要であるため、高い時間応答性が期待できる。

3. 実験結果

図1は実験に用いた圧電振動子の構造と流路の形状を示している。矩形圧電振動子（PZT, $10 \times 10 \times 2$ mm, 厚み方向分極）を音響整合層の役割を果たすシリコンシート（厚さ 0.5 mm）を介して PFA 製流路（外径 3/8 inch, 内径 1/4 inch）に固定した。流路内を流れる水の温度が 8°C および 30°C 、水の流量が $0 \sim 4.5$ L/min の場合の振動子のアドミタンスの周波数特性を、インピーダンスアナライザを用いて測定した。図2は各温度における流量と振動子の圧電横効果による共振周波数およびアドミタンスの関係を表しており、流量が $0 \sim 4.5$ L/min の範囲において、 8°C および 30°C の場合にアドミタンスはそれぞれ 2.8%, 1.0% 減少した。

4. まとめ

単一の圧電振動子による流速測定法を提案し、流量と共振周波数におけるアドミタンスの逆相関性が実験結果によって確認された。今後、電氣的等価回路よりインピーダンスと流速の相関性を定量的に評価する予定である。

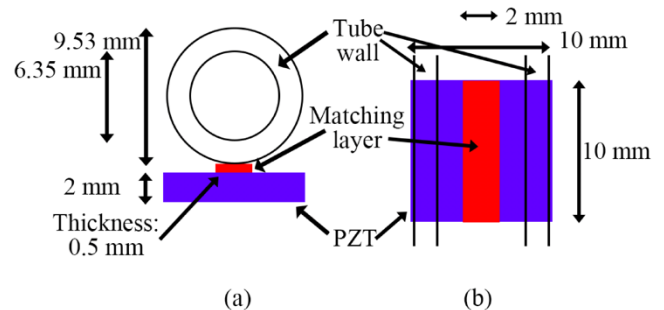


図1 圧電振動子とチューブの配置.
(a)断面図, (b)上面図.

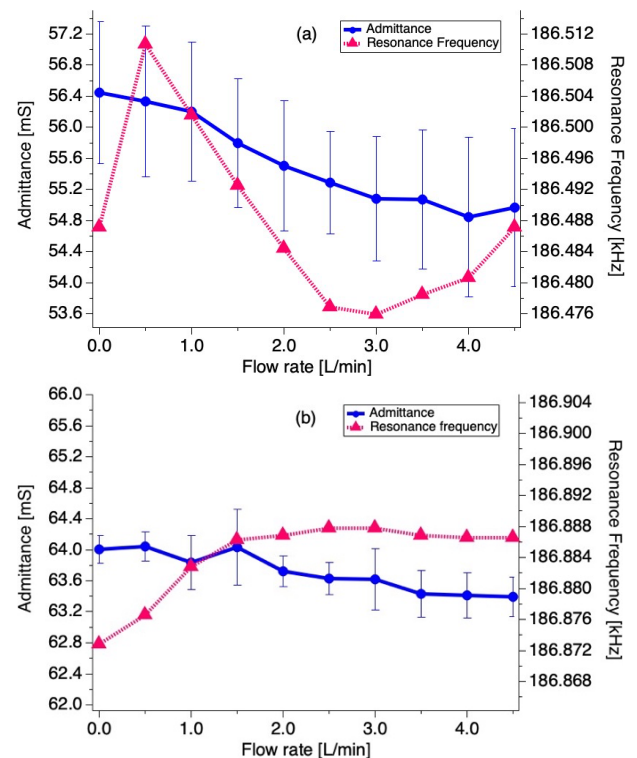


図2 流量率と共振周波数, アドミタンスの関係. (a) 8°C , (b) 30°C .

5. 参考文献

- Alaeddin, M. A., Hashemabadi, S. H., & Mousavi, S. F. (2021). Numerical study on the effect of circumferential position of ultrasonic transducers on ultrasonic cross-correlation flowmeter performance under asymmetric air flow profile. *Ultrasonics*, 115, 106479.
- 富永 昭(1942-), 熱音響工学の基礎, 1998

超音波パルスエコー法を用いた ScAlN、AlN、ZnO 膜の機械的 Q_m 値評価手法

New method for extracting mechanical quality factor Q_m of ScAlN, AlN, ZnO films
by using ultra sonic pulse echo method

早大先進理工¹, 材研²

○(M2) 島野 耀康^{1,2}, 柳谷 隆彦^{1,2}

Waseda Univ.¹, ZAIKEN²

°Yohkoh Shimano^{1,2}, and Takahiko Yanagitani^{1,2}

E-mail: svdp75014@toki.waseda.jp, yanagitani@waseda.jp

1. まえがき

無線バンドが密集する帯域において RF フィルタの急峻性を示す品質係数 Q 値は重要な評価指標の一つである。機械的品質係数 Q_m 値は自立薄膜共振子(FBAR)のインピーダンス実部の半値幅から算出することが可能である[1,2]。また我々のグループでは以前に基板付き薄膜共振子(HBAR)から Q_m 値を抽出する方法を提案している[3]。これらの方法はデバイスの実効的な Q_m 値を評価する点においては有用である一方で、電極形状や電極自体の Q_m 値の影響も大きく効いてしまう。そのため、材料同士の相対評価には有用だが、抽出される Q_m 値は材料定数から予想されるものに比べて、かなり小さく評価されてしまっていた。

そこで本研究では材料自体の Intrinsic な機械的品質係数 Q_m (減衰定数 α/f^2) を評価する方法を提案する。基板付き薄膜共振子(HBAR)構造において基板裏面に被測定材料を作製し、基板底面および被測定材料底面から反射する音波を比較することによって減衰定数を見積る。本報告では、産業的な需要も高い $\text{Sc}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$ 、 $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ 、純 AlN と ZnO 膜の Q_m 値を評価した。

2. 評価手法

本研究では材料自体の減衰定数 α/f^2 を測定し、Intrinsic な機械的品質係数 Q_m 値を抽出する方法を提案する。評価手順を Fig. 1 に示す。まず上部電極/圧電体/下部電極/基板という通常の基板付き薄膜共振子(HBAR)を作製し、これを評価用のトランスデューサとする。次に被測定対象の材料を基板裏面に作製する。このデバイスにおいて、基板底面で反射した音波と被測定材料底面で反射した音波それぞれの挿入損失の差そのものが被測定材料 1 往復分の伝搬損失である。この伝搬損失は周波数の 2 乗に比例することから、算出された伝搬損失を 2 次関数フィッティ

ングした関数の 2 次項の係数を 1 往復分の経路長 (膜厚 $\times 2$) で割ったものが減衰定数 α/f^2 ($\text{dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$) となる。本手法の利点は、圧電材料だけでなく、電極材料や非晶質などの非圧電材料も評価できる点である。

3. 実測結果

RF マグネトロンスパッタ法で作製した $\text{Sc}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$ 、 $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ 、AlN、ZnO 膜に対して本手法より見積られた減衰定数 α/f^2 ($\text{dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$) を Fig. 2 に示す。また $Q_m = \pi f / \alpha V$ より算出される機械的品質係数 Q_m も Fig. 2 に示す。発表時にその他さまざまな材料の Q_m も報告する。

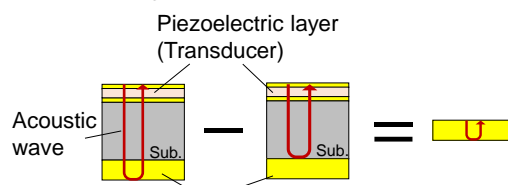


Fig. 1 Measurement procedure for evaluating Q factor

- AlN ($\alpha/f^2 = 3.1 \times 10^{-16} \text{ dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)
- $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ ($\alpha/f^2 = 6.4 \times 10^{-16} \text{ dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)
- $\text{Sc}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$ ($\alpha/f^2 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)
- ZnO ($\alpha/f^2 = 2.8 \times 10^{-15} \text{ dB}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)

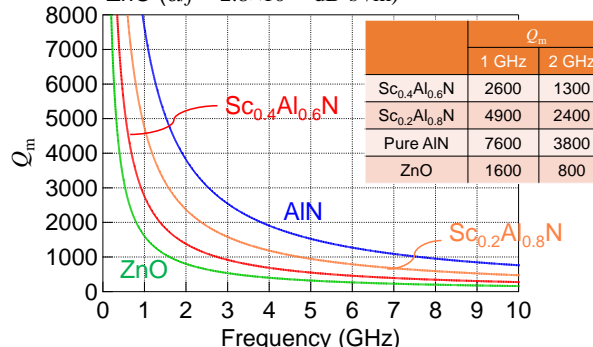


Fig. 2 Estimated Q_m of $\text{Sc}_{0.4}\text{Al}_{0.6}\text{N}$, $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$, AlN, and ZnO films

参考文献

- [1] D. A. Feld, et. al., Proc. IEEE IUS (2008).
- [2] K. M. Lakin, et. al., Proc. IEEE T-MTT (1993).
- [3] S. Kinoshita, et. al., Proc. IEEE IUS (2019).

直線集束ビーム超音波材料解析システムによる ScAlN 薄膜の評価

Evaluation of ScAlN Thin Films by Line-Focus-Beam Ultrasonic-Material-Characterization System

東北大¹, 早稲田大², GEOMATEC³,

○大橋雄二¹, 櫛引淳一¹, 戸津健太郎¹, 花井彩香², 勝又彩馨², 柳谷隆彦², 竹野広晃³, 伊東孝洋³
Tohoku Univ.¹, Waseda Univ.², GEOMATEC Co. Ltd.³,

○Y. Ohashi¹, J. Kushibiki¹, K. Totsu¹, A. Hanai², A. Katsumata², T. Yanagitani², H. Takeno³, T. Ito³

E-mail: yuji.ohashi.b8 @tohoku.ac.jp

【背景と目的】 AlN や ScAlN は高周波フィルタである薄膜バルク波振動子(FBAR)用の圧電材料として利用されている。第6世代移動体通信システム(6G)においては SHF 帯の利用が検討され始め、これに対応できる弾性波フィルタの開発が急務となっている。高周波フィルタを実現するためには低減衰で高品質な ScAlN 膜の開発が重要であり、また同時に、これらの膜を高精度に評価できる技術も必要不可欠である。本報告では、直線集束ビーム超音波材料解析(LFB-UMC)システムを用いた圧電薄膜の評価法を確立するため、異なる条件で作製した ScAlN 薄膜に対する基礎的な音響特性の測定・評価を行う。

【方法】 Table 1 に示すように Sc 濃度の異なる ScAlN 薄膜を c 面サファイア基板上にスパッタリング法を用いた成膜した。全ての ScAlN 薄膜が c 軸配向していることを X 線回折により確認した。また、#3 試料以外は全て六回対称性があることを確認した。これらの試料に対して LFB-UMC システムを用いて水を付加した試料表面上を伝搬する漏洩弾性表面波(LSAW)の伝搬特性を測定した。

Table 1. ScAlN film specimens on c-Sapphire.

No.	Sc conc. [%]	Thick [μm]	FWHM [deg]	Six-fold symmetry
#1	0	1.6	1.2	Yes
#2	10	1.2	2.5	Yes
#3	40	4	2.3	None
#4	40 (base 10)	1.3±0.1	2.8	Yes

【結果と考察】 LFB-UMC システムを用いて 100-275 MHz の周波数範囲において各試料の LSAW 速度の周波数依存性を測定を行った。結果を横軸を超音波周波数 f と膜厚 H の積 fH として Fig. 1 に示す。図中の計算値は、バルクの AlN 単結晶およびサファイア単結晶に対して決定した材料定数を用いて AlN 膜/Sapphire 基板構造および Sapphire 基板単体の LSAW 速度を計算した結果である。Fig. 1 中の測定結果に周期的な変化が見られるのは基板裏面からの反射波の影響である。#1 試料は Sc 濃度 0% であるが計算値より速度が低くなった。#2 試料は#1 試料とほぼ同じ速度となった。#4 試料の速度が最も低くなっており、#3 試料の速度は#2 と#4 の中間の値となった。

バルクの AlN 単結晶の X 線ロックングカーブの半値幅 FWHM は 0.003°程度であるが、#1 試料のそれは 1.2°と大きい。これより#1 の AlN 膜はバルク単結晶よりも結晶性が低下しており、その影響で LSAW 速度の低下が生じているものと考えられる。一般的に Sc 濃度が高くなると ScAlN のバルク波速度は低下することが知られている。そのため、#3 と#4 の LSAW 速度は#1 や#2 のそれよりも低い。#3 試料は六回対称性が観測されなかったため LSAW 速度が最も低下している。以上から、ScAlN 薄膜の弾性的特性の変化を LSAW 速度の変化を通して抽出することができた。今後はこれらの基礎特性をベースに ScAlN 薄膜評価法の確立を目指していく。

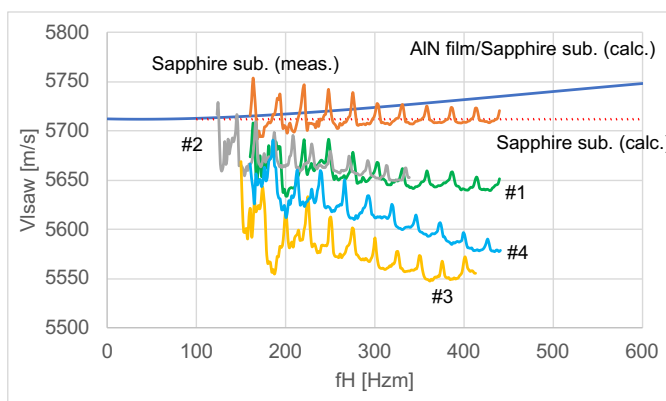


Fig. 1 Frequency dependences of LSAW velocity for ScAlN film/c-Sapphire substrate.

ScAlN と SiAlN の積層による 2 層分極反転薄膜の形成と BAW 特性評価

BAW characteristics of two-layer polarization inverted films consisting of ScAlN and SiAlN layers

山梨大学 [○](M2) 福永 慶, 鈴木雅視, 垣尾省司

Univ. of Yamanashi, [○]Kei Hukunaga, Masashi Suzuki, Shoji Kakio

E-mail: g23te021@yamanashi.ac.jp

1. まえがき

BAW 共振子を高周波動作させるためには、圧電膜厚の極薄化が必要であり、それに伴う耐電力性の低下が問題になると考えられる。また、共振子内の電極膜厚割合が増加し、質量負荷効果が大きくなることで共振周波数が大きく低下してしまう恐れもある。

分極反転薄膜 BAW 共振子は圧電薄膜部分の層数 n に応じた n 次モードで共振する。したがって分極反転薄膜 BAW 共振子を単層薄膜 BAW 共振子と同じ共振周波数で動作させる場合、 n 倍厚い圧電膜厚を確保できる。よって、分極反転膜では上述した課題を解決できると考えられる。

我々はこれまでに AlN 膜と SiAlN 膜からなる分極反転 SiAlN/AlN 多層膜 BAW 共振子を形成し、高次モード共振を達成している [1]。ScAlN 薄膜は大きな圧電性と電気機械結合係数を有する [2]。そのため、分極反転構造の Al 極性膜として ScAlN 薄膜を用いれば、分極反転 BAW 共振子の高性能化が実現できると考えられる。

本研究では 2 層分極反転 SiAlN/ScAlN 薄膜を形成し、BAW 特性を評価した。

2. Mason の等価回路による 2 層分極反転 AlN 系薄膜 SMR の k_{eff}^2 比較

2 層分極反転 AlN/SiAlN, SiAlN/AlN, ScAlN/SiAlN, SiAlN/ScAlN 薄膜 SMR の実効的電気機械結合係数 k_{eff}^2 を比較するため Mason の等価回路を用いてアドミタンス周波数特性を解析した。モデル内の k_t^2 は AlN 薄膜で 4%, SiAlN 薄膜で 2.5%, ScAlN 薄膜で 6% とした。図 1 に示すように AlN/SiAlN 薄膜構造と SiAlN/AlN 薄膜構造では圧電薄膜の積層順による帯域幅の変化は小さく、両方の構造において k_{eff}^2 = 約 3% が得られた。一方、ScAlN/SiAlN 薄膜構造と SiAlN/ScAlN 薄膜構造では AlN 薄膜を用いた構造よりも帯域幅が広く、積層順による帯域幅の変化が確認された。ScAlN/SiAlN 薄膜構造は k_{eff}^2 = 約 3.4%, 帯域幅が最も広い SiAlN/ScAlN 薄膜構造は k_{eff}^2 = 約 4% であった。

3. 2 層分極反転 ScAlN/SiAlN 薄膜 BAW 共振子の形成・評価

RF マグネトロンスパッタ法を用いて、1 層目に N 極性 SiAlN 薄膜、2 層目に Al 極性 ScAlN 薄膜を Ti/石英ガラス基板上に形成した。基板付き BAW 共振子(HBAR, Au/ScAlN/SiAlN/Ti/石英ガラス)の変換損失をネットワークアナ

ライザにて測定した。図 2 に示すように 2 次モードでの変換損失が最小となっていることから、この共振子は 2 次モード共振を達成していることが判明した。また、分極反転構造を考慮した Mason の等価回路より求めた理論曲線と傾向が一致した。したがって、SiAlN 薄膜と ScAlN 薄膜の積層により 2 層分極反転構造が形成できることを実証した。理論曲線との比較から求めた k_t^2 は下層 SiAlN 薄膜で 2.8%, 上層 ScAlN 薄膜で 7.8% であった。発表では積層順を入れ替えた SiAlN/ScAlN 薄膜の形成・BAW 特性評価についても報告する予定である。

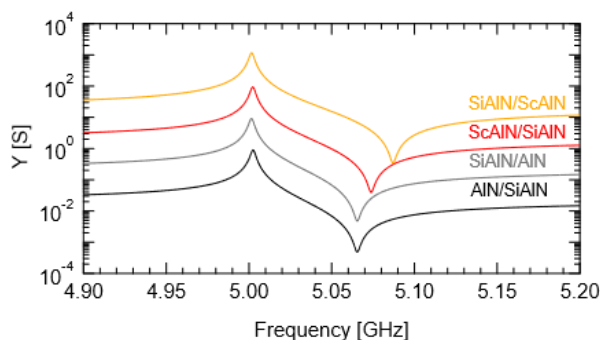


Fig1. Admittance frequency characteristics of two-layer polarization inverted SMRs with AlN/SiAlN, SiAlN/AlN, ScAlN/SiAlN, SiAlN/ScAlN films

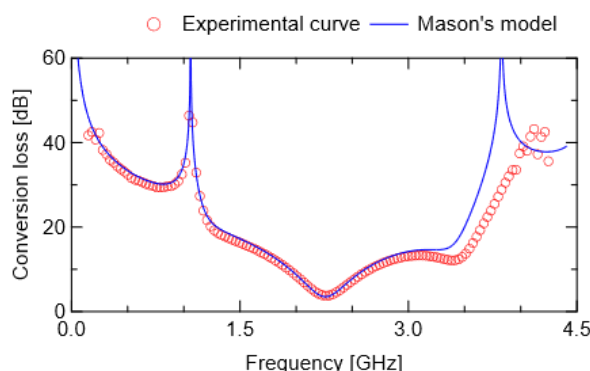


Fig.2 Conversion loss of two-layer polarization inverted ScAlN/SiAlN film HBAR

参考文献

- [1] J. Sekimoto, M. Suzuki, and S. Kakio, Applied Physics Letters 121.14, 2022.
- [2] M. Akiyama, Advanced Materials, 21, p 594, 2009.

ScAlN 薄膜を用いた分極反転多層構造 SMR による 二重モード型 BAW フィルタ (DMB)

Double mode BAW filter (DMB) based on ScAlN
using polarization inversion multilayer SMR

早大先進理工¹, 材料技術研究所²

○(M1) 松村 桃佳^{1,2}, 柴田 真之^{1,2}, 柳谷 隆彦^{1,2}

Waseda Univ.¹, ZAIKEN²

○Momoka Matsumura^{1,2}, Saneyuki Shibata^{1,2} and Takahiko Yanagitani^{1,2}

E-mail: matsumomo.618@suou.waseda.jp, yanagitani@waseda.jp

1. まえがき

現在スマートフォンの RF フィルタとして、SAW フィルタと、BAW フィルタが利用されている。特に BAW フィルタは SAW フィルタに比べて耐電力性が高い[1]ことから、今後より高い周波数帯(5 GHz~)への応用が期待されている。SAW フィルタでは主に、ラダー型 SAW フィルタ[2]と、DMS (Double Mode type SAW) フィルタ[3]が普及している。一方で BAW フィルタは DMS フィルタのような音響的な結合を利用した BAW フィルタがほとんど実用化されていない。これまで SCF (Stacked Crystal Filter) [4]や CRF (Coupled Resonator Filter) [5]といった構造に関する研究は多く報告されているものの、DMS フィルタほど広く利用されていない。SCF や CRF の圧電層を多層化すれば、通過帯域幅の調整が容易になると考えられる。

そこで本研究では、BAW 共振子同士の音響的な結合を使った新しい BAW フィルタとして、分極反転多層構造および中間電極多層構造を用いた、二重モード型 BAW (DMB: Double Mode type BAW) フィルタを提案する。

2. 作製手法

RF マグネトロンスパッタリング法を用いて、音響ブラッグ反射器($\text{SiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$)上に入力層/出力層として圧電体(ScAlN)-電極(Al)薄膜を入出力2層ずつ成膜した。基板をターゲットに対して垂直に配置することで、c 軸傾斜分極反転 ScAlN 薄膜を音響ブラッグ反射層上に成膜できる。ターゲット-基板距離や基板の配置は、c 軸傾斜角度 $40\text{-}50^\circ$ [6]を目標に条件を最適化した。この角度では高い厚みすべりモード k'_{35} を持ちつつ厚み縦モード k'_{33} が抑制される。

3. 実測結果

作製した分極反転多層構造型 DMB フィルタ(入力2層、出力2層)の測定結果を図9に示す。インピーダンス特性の結果から、作製したデバイスは入出力ともに 500 MHz 付近で4次モード共振している。また通過特性の結果から、約 600 MHz を中心とした帯域幅 200 MHz のバンドパスフィルタ特性を確認した。計算上で入出力電気端に、並列インダクタンス $L_p (=12.7 \text{ nH})$ を挿入したときの通過特性 S_{21} の測定結果を図 9(b)に示す。

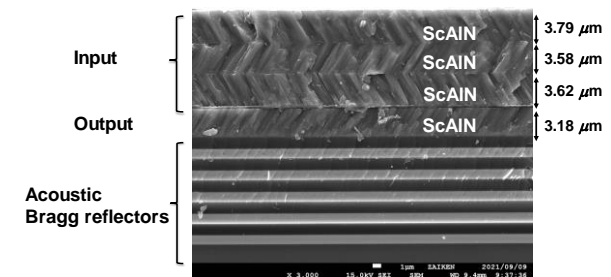


Fig. 1 Cross sectional SEM image

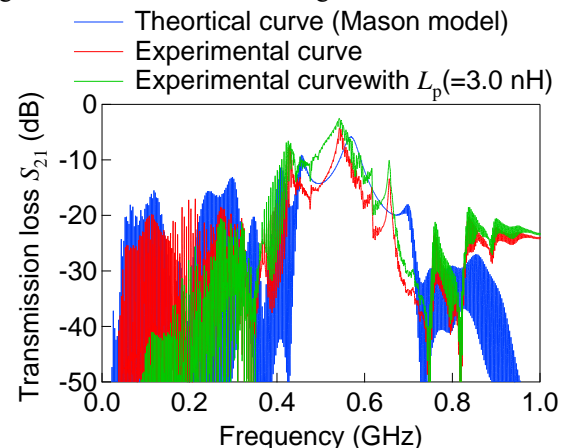


Fig. 2 Experimental transmission loss

参考文献

- [1] Y. Satoh et al., *J. Appl. Phys.* (2005).
- [2] O. Ikata et al., *IEEE IUS* (1992).
- [3] T. Morita et al., *IEEE IUS* (1992).
- [4] A. Ballato and T. Lukaszek, *27th ASFC* (1973).
- [5] K. M. Lakin, *IEEE IUS* (2002).
- [6] S. Kinoshita and T. Yanagitani, *IEEE IUS* (2020).

RF スパッタリングにより成膜された一軸配向 (K, Na) NbO₃ 膜の不活性層に関する検討

Inactive layer on One-axis oriented (K, Na)NbO₃ Films Deposited by RF Sputtering

山梨大 ○(M2) 中山 雄太, 鈴木 雅視, 垣尾 省司

Univ. of Yamanashi ○Yuta Nakayama, Masashi Suzuki, and Shoji Kakio

E-mail: g23te020@yamanashi.ac.jp

1. はじめに

(K,Na)NbO₃(KNN)は、非鉛かつ大きな圧電性を有する圧電材料として知られている。様々な方法により育成、成長された結晶、セラミックス、薄膜が報告されており、センサやトランスデューサなどへの応用が研究されている[1]。これらのうち、高周波(RF)スパッタリングにより成膜された KNN 膜は、鉛系圧電膜に匹敵する優れた圧電性を示すことが報告されている[2]。前報では、RF スパッタリングにより ZnO 密着層上に成膜された KNN 膜におけるバルク弾性波(BAW)伝搬特性の成膜時基板温度依存性を、基板付き薄膜共振器(HBAR)を用いた変換損失法により評価した結果を報告した[3]。

本報では、圧電不活性層(圧電膜中で圧電性を持たない層)を考慮した Mason の等価回路モデルを用いて、KNN 膜中における不活性層について検討した結果を報告する。

2. 変換損失法による KNN 膜の評価

SiO₂/(100)Si/SiO₂ 基板上に密着層として ZnO (膜厚: 25 nm) が、下部電極として Pt(111) (膜厚: 200 nm) がそれぞれ成膜されたのち、KNN 膜の組成比 Na/(K+Na)が 0.65 となるよう調製されたセラミックターゲットを用いた RF スパッタリングにより、400°C~740°Cの基板温度で Pt 上に(001)配向 KNN 膜(膜厚: $t=2.0\ \mu\text{m}$)が成膜された試料を用いた。KNN 膜表面に真空蒸着した Au 膜を上部電極として Fig. 1 に示す HBAR を作製し、ネットワークアナライザにより変換損失を測定した。実測値に対して圧電不活性層を考慮した Mason の等価回路より求めた理論値とのフィッティングを行った。

3. KNN 膜における不活性層の検討

Fig. 2 に基板温度 400°Cの試料での変換損失の実測値と不活性層の考慮有り/無しの場合の理論値を示す。基板温度 400°C~540°Cの試料の変換損失における二次モードにおいて、不活性層を考慮することで高いフィッティング精度を示した。Fig. 3 に、考慮した不活性層厚と成膜時の基板温度の関係を示す。ZnO 密着層上に成膜された KNN 膜には膜厚の 10~20%程度の不活性層が形成されている可能性がある。

一方で、基板温度 700°C, 740°Cの試料では、KNN 膜中に分極反転層(分極軸が主配向と異なる層)を考慮することで変換損失の実測値に対し、高いフィッティング精度を示した。

今後は、不活性層の形成等を踏まえ、KNN 膜の成膜条件の最適化を検討する。

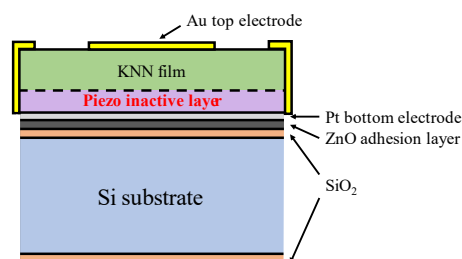


Fig. 1 Schematic diagrams of KNN HBAR structure considering piezoelectric inactive layer.

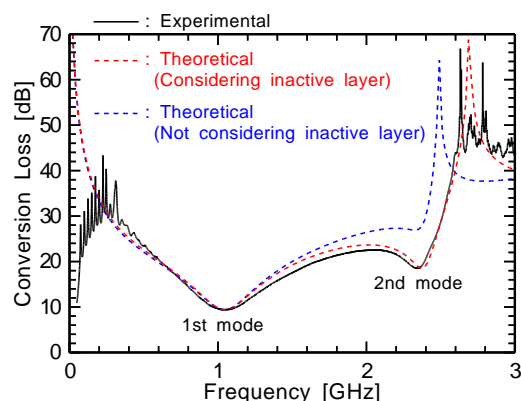


Fig. 2 Experimental and theoretical conversion loss in KNN HBAR sample at a substrate temperature of 400°C.

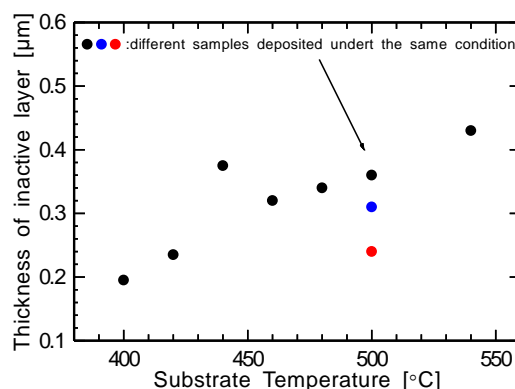


Fig. 3 Temperature dependence of thickness of piezoelectric inactive layer in KNN films.

参考文献

- [1] J. Koruza, *et al.*, J. Mater. Res. **35** (2020) 990.
- [2] K. Shibata, *et al.*, JJAP **50** (2011) 041503.
- [3] 中山, 他, 応物秋, 22p-B202-11 (2023).

LiTaO₃ 薄板/低抵抗 SiC 構造における SH₁ モード板波共振特性の解析 Analysis of Resonance Properties for SH₁ Mode Plate Waves on Thin LiTaO₃ / LR-SiC Plate

山梨大 ○(D) 渡邊 紀之, 垣尾 省司

Univ. of Yamanashi, °Noriyuki Watanabe and Shoji Kakio

E-mail: g20dtsa2@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 次世代通信システムには, 高周波, 広帯域, 高 Q を有し, かつ耐高電力な弾性波 RF フィルタが要求される. 近年, 接合技術および薄板化技術の進歩を踏まえ, 薄板構造の様々な板波モードが研究され, その中でも高音速板波の利用が報告されている[1, 2]. しかし圧電基板の極薄板は非常に脆く製造上も耐久性も実用的ではない. そこで本報告では, 先報告[3]に続き, 新たに周波数温度変動の小さい LiTaO₃(LT)と低抵抗 SiC(LR-SiC)との直接接合構造における高音速板波共振特性を検討した.

2. FEM 解析 Fig. 1(a)に示す LT を薄板化した構造(a)で A₁ mode 板波の共振子や, Fig. 1(b)に示す薄板化 LT 裏面に電極を配した構造(b)で SH₁ mode 板波の共振子について報告されている[1, 2]. LiNbO₃ 薄板/SiC 構造の先報告[3]と同様に, 本報告では Fig. 1(c)に示す LT の裏面側に低抵抗 3C-SiC を接合した新構造(c)における SH₁ mode 板波の共振特性について有限要素法(FEM)により解析した. 解析モデルでは LT 表面に Al-IDT を無限周期とし, 構造(c)の LT/SiC 接合境界面には浮き電極条件を与え, 低抵抗 SiC に見立てた. 波長 λ を 6.4 μm , 各材料の材料 Q を 1000 とし, 誘電損は考慮していない.

各構造について, Rot.YX-LT 薄板におけるカット角に対する SH₁ mode と A₁ mode における実効的電気機械結合係数 K_{eff}^2 と位相速度 V_p の挙動を Fig. 2 に示す. さらに新構造(c)について Fig. 2 より K_{eff}^2 が最大になる 84°YX-LT を用いて, SH₁ mode 共振特性の LT 板厚依存性を調べた(Fig. 3). その結果, 各積層厚みが $h_{\text{Al}}=0.03\lambda/h_{\text{LT}}=0.14\lambda/h_{\text{SiC}}=0.12\lambda$ の時, 比帯域幅 $FBW=4.11\%$, $K_{\text{eff}}^2=9.73\%$, 及び $V_{fr}=11313\text{m/s}$, $V_{fa}=11797\text{m/s}$ を得た.

新構造(c)の SH₁ mode の TCF について FEM 解析した結果を Fig. 4 に示す. LT 単体薄板[2]より TCF の絶対値の減少が見られた.

参考文献

- [1] N. Assila, M. Kadota *et al.*, IEEE UFFC, vol.66, no.9 (2019)
- [2] F. Setiawan, M. Kadota *et al.*, USE2022, 2E2-1.
- [3] 渡邊, 垣尾, 応物春, 23a-12E-4, 2024.

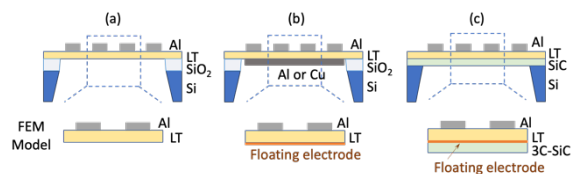


Fig. 1 Analyzed FEM models of (a) LT-single, (b) LT-single with electrode on back, and (c) LT/LR-3C-SiC.

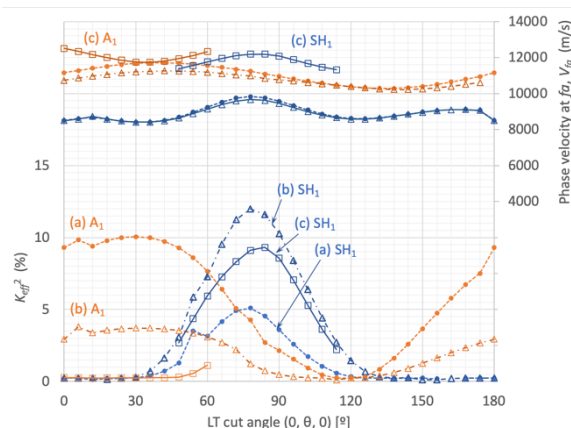


Fig. 2 Simulated K_{eff}^2 and V_p of SH₁ and A₁ modes with respect to the LT cut-angle on (a) LT in dash-line, (b) LT with the electrode on back in dash-dot-line, and (c) LT/LR-3C-SiC in solid-line.

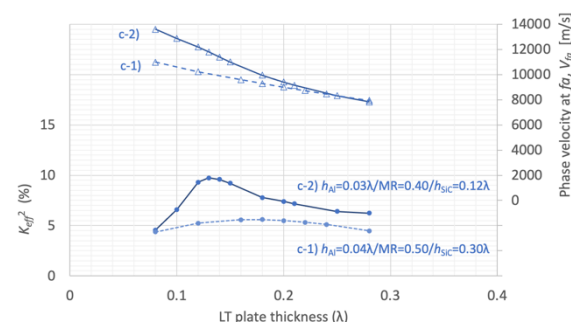


Fig. 3 Simulated K_{eff}^2 and V_p of SH₁ mode with respect to the LT thickness on various conditions of new structure (c).

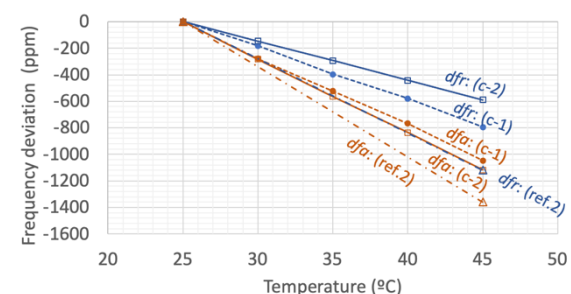


Fig. 4 Simulated TCF of SH₁ mode on the various structures of (c) and the values from Ref. 2.

LiNbO₃/SiO₂/SiC 構造上の縦型漏洩弾性表面波特性の解析

Analysis of properties of longitudinal leaky SAW on LiNbO₃/SiO₂/SiC structure

¹山梨大, ²山本エイデック ◯(M2)武居 諒¹, 鈴木 雅視¹, 垣尾 省司¹, 山本 泰司²

¹University of Yamanashi, ²Yamamoto-ADEC LLC.

◯Ryo Takei¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, and Yasushi Yamamoto²

E-mail: g23te016@yamanashi.ac.jp

1. はじめに

高音速な縦型漏洩弾性表面波(LLSAW)は SAW デバイスの高周波化に有利だが, LiNbO₃(LN)等の単体基板では伝搬減衰が大きい。著者らは, LN/SiC 接合構造において高 Q な LLSAW が現れることを有限要素法(FEM)により明らかにした^[1]。一方, アモルファス SiO₂ 膜は SAW デバイスの温度補償膜として知られており, 例えば Rot.YX-LN 上の LSAW において膜厚 0.15–0.25 λ (λ : 波長)の SiO₂ 膜を装荷すると, ゼロの周波数温度係数(TCF)を示すことが報告されている^[2]。LN と SiC の間にアモルファス SiO₂ 中間層を設けると, 接合強度が増すと同時に TCF の改善が期待される。

本報告では, LSAW によるスプリアスが抑圧される X50°Y-LN/4H-SiC^[3]に SiO₂ 中間層を設けた LN/SiO₂/4H-SiC 上の LLSAW 特性を解析した結果を報告する。

2. 伝搬特性

Fig. 1 に規格化 LN 板厚 h/λ に対する LLSAW の(a)位相速度と(b)結合係数 K^2 の解析解を示す。規格化 SiO₂ 膜厚 h_a/λ をパラメータとした。位相速度は h/λ の増加に伴い減少し, LN 単体の速度に漸近した。また, 同じ h/λ において, h_a/λ の増加に伴い位相速度は減少した。また, SiO₂ を挿入すると K^2 の最大値を示す h/λ が薄い方へシフトした。ただし h_a/λ 増加によるシフトの変化は小さかった。

3. 共振特性

X50°Y-LN/SiO₂/4H-SiC において, 波長 $\lambda=10\ \mu\text{m}$ の Al 製すだれ状電極(IDT)を無限周期とした場合の共振特性を FEM により解析した。LN の材料 Q のみを 600 に設定した。 $h_a/\lambda=0.01$ –0.06 における, 比帯域幅の規格化 Al 膜厚 h_{Al}/λ 依存性を解析したところ, どの h_a/λ においても $h_{Al}/\lambda=0.08$, $h/\lambda=0.40$ が最大値を示す条件であった。 Fig. 2 にその時の共振特性を示す。4,000 m/s 付近の LSAW, 6,700 m/s 付近の LLSAW 高次モードによるスプリアス応答は h_a/λ の増加に伴い抑制された。共振間に現れるスプリアス応答が最も小さい $h_a/\lambda=0.03$ において, LLSAW に対して 10.5%の比帯域幅と 90 dB のアドミタンス比を示した。 SiO₂ 中間層を設けない X50°Y-LN/4H-SiC では, $h_{Al}/\lambda=0.085$, $h/\lambda=0.45$ において同様にスプリアス応答が小さい LLSAW 共振特性を示し, 9.9%の比帯域幅を示した。したがって, SiO₂ 中間層を設けると比帯域幅が増加することがわかった。

温度係数が既知である 3C-SiC^[4]を支持基板

として, 前述の SiO₂ 中間層を設ける前後の最適条件における共振周波数の TCF を FEM により解析した。 X50°Y-LN/3C-SiC では–89.5 ppm/°C, X50°Y-LN/SiO₂/3C-SiC では–81.5 ppm/°Cを示し, 温度特性が改善されることがわかった。

参考文献

- [1] R. Takei, *et al.*, JJAP, **63** (2024) 05SP16.
- [2] K. Yamanouchi and T. Ishii, JJAP, **41** (2002) 3480.
- [3] 武居, 他, 応物春, 17p-C505-3 (2023).
- [4] L. Pizzagalli, Philosophical Magazine Letters, Taylor & Francis, vol. 101 (2021).

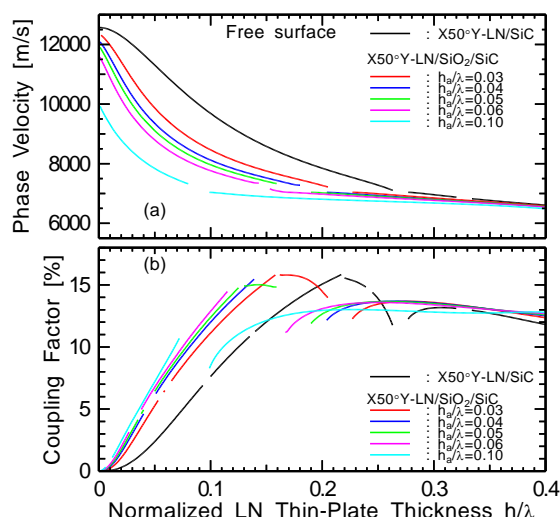


Fig. 1 Calculated (a) phase velocity and (b) coupling factor of LLSAW on X50°Y-LN/SiO₂/4H-SiC.

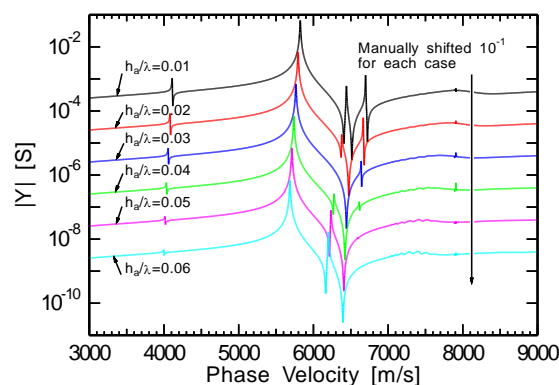


Fig. 2 Simulated resonance properties of LLSAW on X50°Y-LN/SiO₂/4H-SiC.

LiNbO₃/Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄ 接合構造上の縦型漏洩弾性表面波共振特性の解析

Analysis of resonance properties of longitudinal leaky SAW on LiNbO₃/Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄

○(M1) 小林 祐哉¹, 鈴木 雅視¹, 垣尾 省司¹, 木村 悟利² (¹山梨大, ²Piezo Studio)

○Yuya Kobayashi¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, and Noritoshi Kimura²

(¹University of Yamanashi, ²Piezo Studio Inc.)

E-mail: g24te010@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 近年の移動通信システムの発展により SAW デバイスの高性能化が要求されている。La₃GaSiO₁₄(LGS)や La₃Ga_{5.5}Ta_{0.5}O₁₄ 等のランガサイト型結晶は、水晶の 3~5 倍の電気機械結合係数 K^2 を有するが、材料コストが高い、結晶成長時の組成の制御が困難等の問題があった。Naumenko は LGS 支持基板と LiNbO₃(LN) 薄板との接合構造上に Cu-IDT により励振される縦型漏洩 SAW (LLSAW) を解析し、低い伝搬減衰(高い Q)、6,200 m/s の位相速度、14.5% の K^2 が得られる条件を報告している^[1]。

一方、著者らは、単結晶内の均一性が高い等の利点を有するオーダー型ランガサイト結晶 Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄(CTGS)に注目し、前報において、LN(90°, 90°, ψ)/CTGS(0°, 90°, 90°)の接合構造上の LLSAW 共振特性を有限要素法(FEM)により解析し、LLSAW の共振 Q 、反共振 Q のいずれかが高 Q 化される条件を報告した^[2]。

本報告では、LLSAW が速い横波成分と結合しないため、より高い Q が期待できる回転 Y カット 90°X 伝搬 LN ((0°, θ , 90°)LN)を用いた場合の Al-IDT により励振される LLSAW 共振特性を FEM により解析した結果を報告する。

2. 共振特性 LN(0°, θ , 90°)/CTGS(0°, 90°, 90°)において、波長 $\lambda=10\mu\text{m}$ の Al-IDT を無限周期とした構造上の LLSAW 共振特性を FEM により解析した。材料 Q と誘電損は考慮していない。規格化 LN 板厚 h/λ を 0.55 とし、IDT の規格化 Al 膜厚をアドミタンス比が最大を示した $h_{\text{Al}}/\lambda=0.075$ に設定した。

Fig. 1 に、 $h/\lambda=0.55$ の場合の LN 第 2 オイラー角 θ に対する (a) K^2_{eff} 、(b) 共振 Q ・反共振 Q を示す。 K^2_{eff} は $\theta=40^\circ$ 付近で最大値を示し、 θ の増加に伴い減少した。共振 Q は $\theta=80^\circ$ で最大値 12,374 を示し、反共振 Q は $\theta=81^\circ$ で最大値 13,058 を示した。アドミタンス比は $\theta=80^\circ$ で最大値 130 dB を示したため $\theta=80^\circ$ に注目した。

Fig. 2 に、LN(0°, 80°, 90°)/CTGS(0°, 90°, 90°) の LLSAW 共振特性 ($h/\lambda=0.55$) を示す。図中に示す前報の LN(90°, 90°, ψ)/CTGS(0°, 90°, 90°), $\psi=29^\circ, 112^\circ, 142^\circ$ の共振特性 ($h/\lambda=0.52$)^[2] では、共振 Q 、反共振 Q のいずれかが高い Q を示すのに対して、LN(0°, 80°, 90°)を接合させた構造では、共振 Q と反共振 Q がいずれも高い Q を示すことを明らかにした。本報告で見出した LN のオイラー角は、Cu-IDT/LN/LGS 構造において高い Q を示すと報告されているオイラー角^[1]と同一となった。

今後は、実験的検討を進めるとともに、温度特性について検討する。

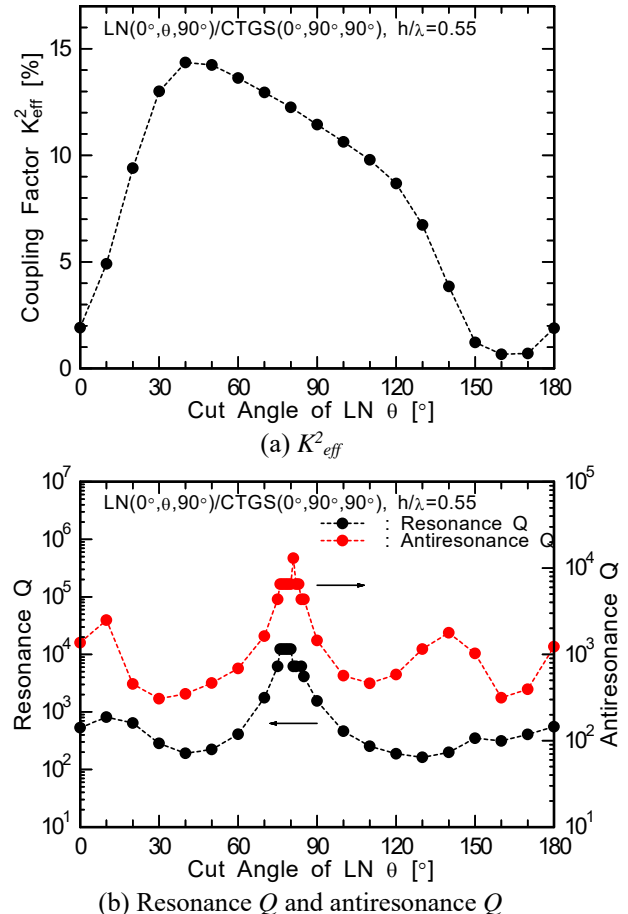


Fig. 1 Simulated LLSAW properties on Al-IDT/LN/CTGS.

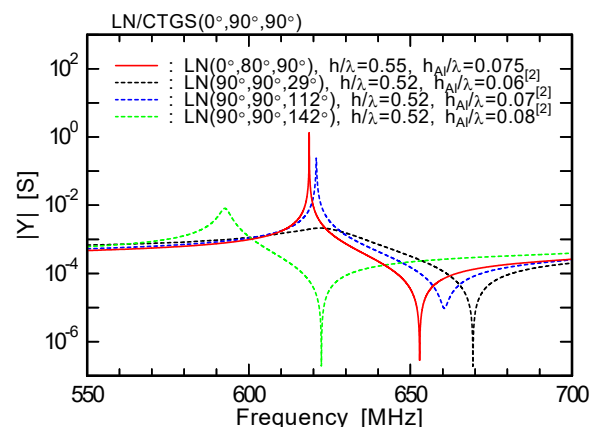


Fig. 2 Comparison of simulated resonance properties.

参考文献

- [1] N. F. Naumenko, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr. **67** (2020) 1909.
- [2] 垣尾, 他, 応物春, 23p-P05-61 (2024).

周期的空隙を有する圧電基板上的 A_1 モードラム波共振特性の解析

Analysis of A_1 -mode Lamb wave resonance properties on piezoelectric substrates with periodic voids

山梨大 ○(M1)小林 駿平, 鈴木 雅視, 垣尾 省司

University of Yamanashi ○Shumpei Kobayashi, Masashi Suzuki, and Shoji Kakio

E-mail: g24te009@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 弾性表面波(SAW)デバイスには高周波化, 高 Q 値化, 広帯域化等の高性能化が要求されている. 圧電結晶薄板の上下面を全反射しながら伝搬する板波は, 高次モードでは非常に速い速度で伝搬するため高周波化に有利, かつ広帯域化に有利である. しかし, 必要な板厚が薄いため構造が脆い. 当研究グループでは, 支持基板表面に周期的な空隙を設けた構造を提案し, SH_0 モード板波, S_0 モードラム波に近い共振特性が得られることを有限要素法(FEM)シミュレーションにより明らかにした^[1]. 本報告では, $LiNbO_3$ (LN)薄板中を伝搬する A_1 モードラム波について, 周期的な空隙を設けた接合構造上の共振特性の解析結果を報告する.

2. 共振特性の FEM 解析 LN の A_1 モードラム波において最も比帯域幅が大きくなるカット角を探索した結果, 波長 λ で規格化した LN の板厚が 0.15 のとき 123°YX-LN で 10.4 %を示した. そこで, 123°YX-LN を薄板とし, Al-IDT の無限周期構造による共振特性を FEM によりシミュレートした. 解析モデルを Fig. 1 に示す. 支持基板として Fig. 1 に示した 6 種類を検討した. 波長 $\lambda=2.63 \mu m$, 支持基板の厚みを 10λ , LN 板厚を h とした. 支持基板表面に幅 w , 深さ $d=0.1\lambda$ の空隙を設置し, 空隙のピッチ p を Al-IDT のピッチと一致させた. Al-IDT の膜厚を 0.03λ とし, LN の材料 Q を 600 と仮定した. また, 基板底面からの反射を防ぐため, 底面を完全整合層(PML)とした. Fig. 2 に示す粒子変位より, A_1 モードラム波の主変位である L 成分の変位が小さくなる部分が接合されるように, 電極の間に空隙を設置した.

Fig. 3 に 123°YX-LN の規格化板厚を $h/\lambda=0.15$, 支持基板を 4H-SiC とし, w/p をパラメータとした共振特性を示す. 横軸は周波数に λ を乗じた位相速度である. w/p の増加に伴って A_1 モードラム波の共振特性に漸近することがわかった. サファイアでも SiC と同様に不要応答が少ない共振特性が得られたが, 他の基板では多数の不要応答が観測された. LN と速度差が大きい SiC やサファイアを用いると, A_1 モードラム波の SH 成分, SV 成分が支持基板内に漏れにくい構造が得られると考えられる.

Fig. 4 に w/p を 0.7 に固定し, h/λ に対する位相速度と比帯域幅を示す. h/λ の減少に伴い比帯域幅は増加し, 位相速度は速くなることがわかった. また, $h/\lambda=0.15$ における周期的な空隙を有する 123°YX-LN/4H-SiC 構造の比帯域幅は 9.28 %であり, 123°YX-LN 単体の 10.4 %に近い値が得られた.

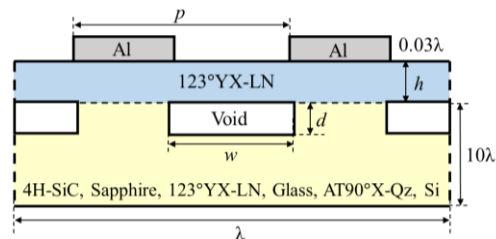


Fig. 1 Analytical model.

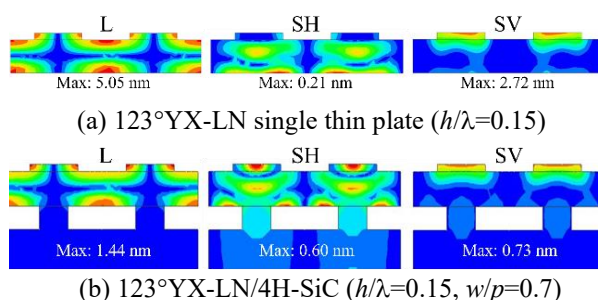


Fig. 2 Simulated particle displacements of A_1 mode.

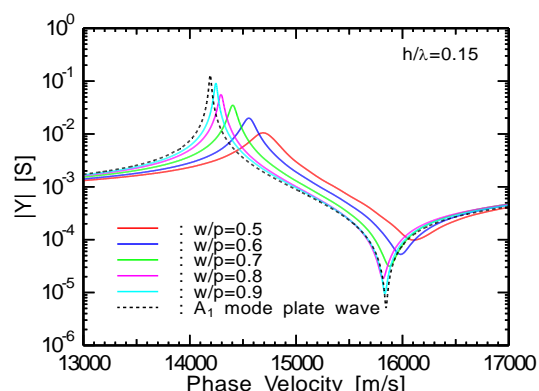


Fig. 3 Simulated resonance properties of A_1 mode on 123°YX-LN/4H-SiC with periodic voids.

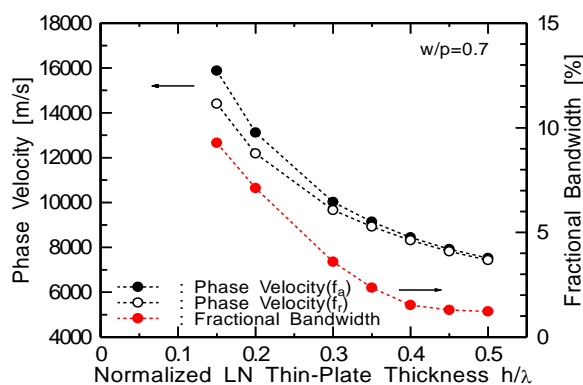


Fig. 4 Phase velocity and fractional bandwidth of A_1 mode on 123°YX-LN/4H-SiC with periodic voids.

文献 [1] T. Suzuki, *et al.*, JJAP 62 (2023) SJ1008.