

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

2024年9月16日(月) 16:00 ~ 18:00 皿 P07 (展示ホールA)

[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、ゴーション 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 心太朗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)

◆ 英語発表

[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 Agus², 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 柁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。タングステンには融点が高く、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持っている。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、酸化鉍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。

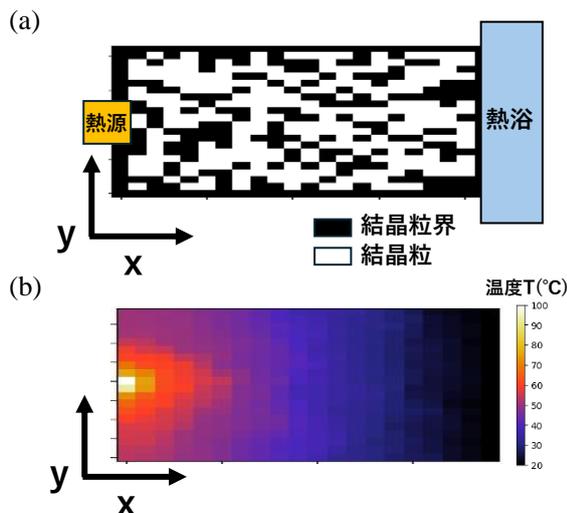


Fig.1 多結晶材料のモデル(a)と熱回路網法による温度分布(b)

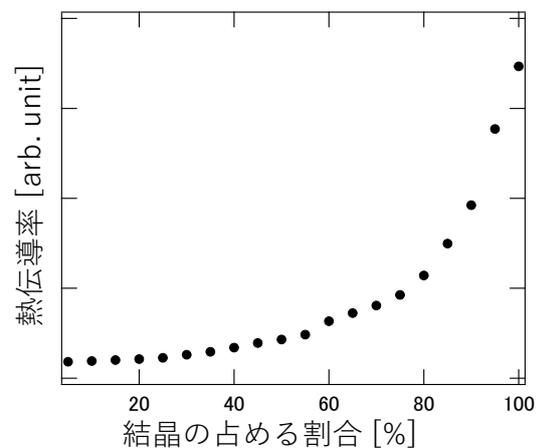


Fig.2 結晶が占める割合と熱伝導率の関係 (結晶中、粒界内、結晶-粒界間の熱抵抗比 1:20:2 の場合)

[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。

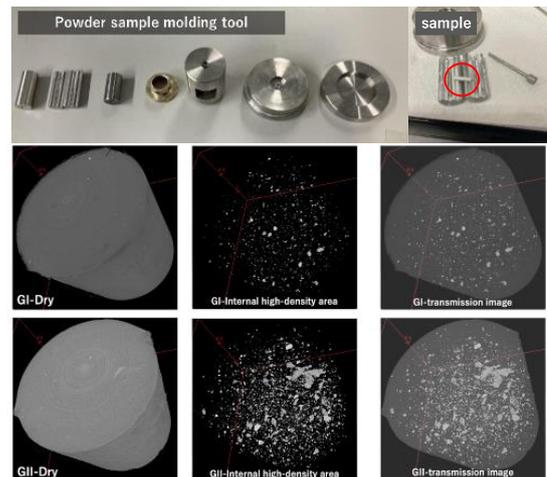


Fig.1 Molding tools and CT image

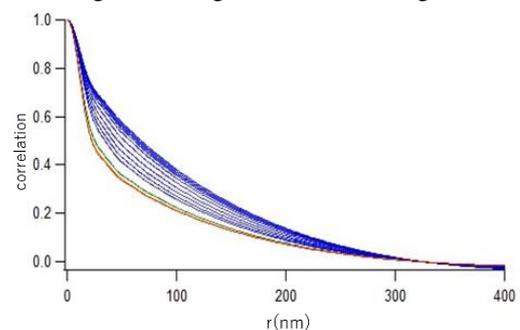


Fig.2 Changes in the self-correlation function

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。

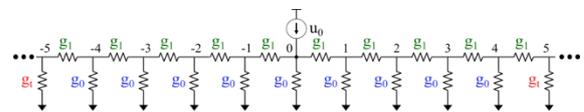


Fig. 1 Resistor Network Circuit

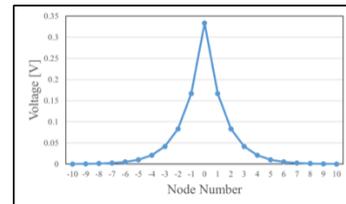


Fig. 2 Voltage spread with $g_1 = 2g_0, g_t = 2g_0$

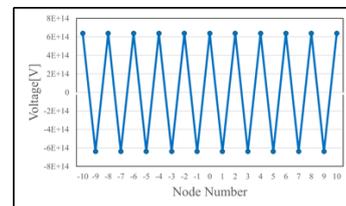


Fig. 3 Voltage spread with $g_1 = -\frac{g_0}{4}, g_t = \frac{g_0}{2}$

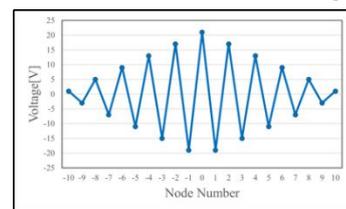


Fig. 4 Voltage spread with $g_1 = -\frac{g_0}{4}, g_t = g_0$

[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。

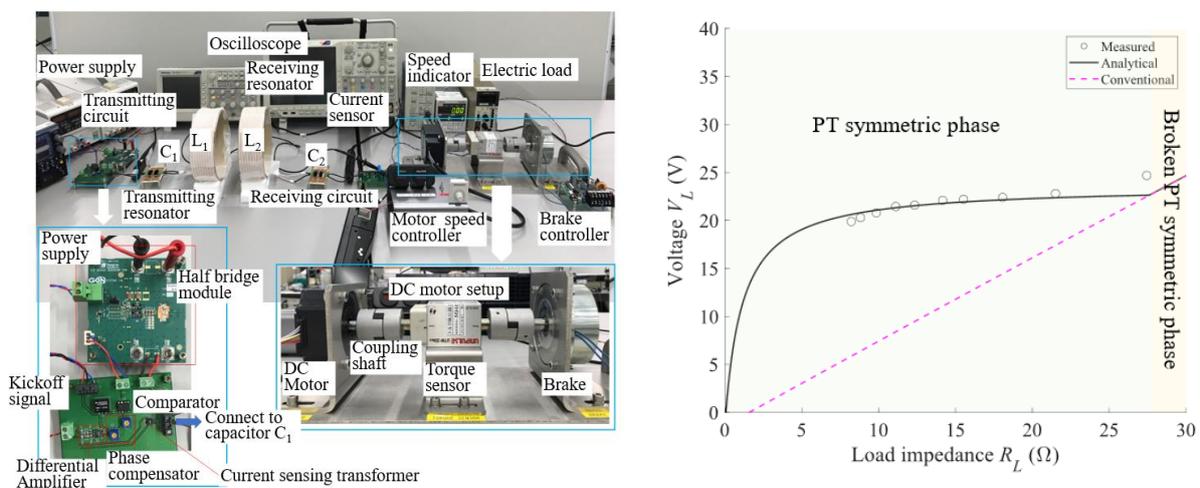


図1 ワイヤレス給電モーター駆動システム 図2 負荷インピーダンスに対するモーター電圧

[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, ゴーシャンワイ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な環境を整えている。

【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。

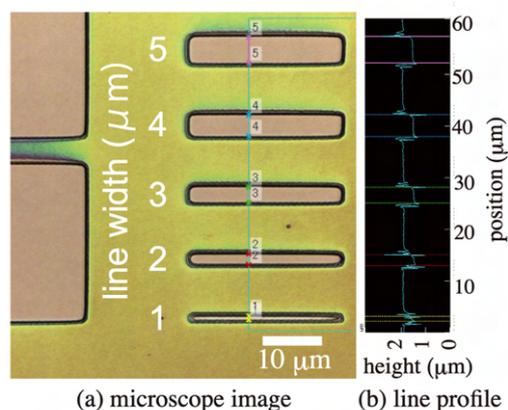


Fig.1. Surface observation after development.

【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).

地磁気逆転現象の展示実験その7

Experimental Display-7 of Geomagnetic Reversal Phenomenon

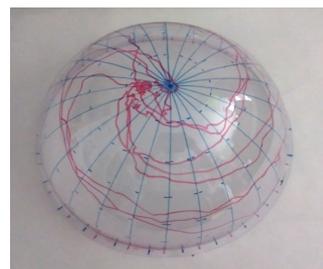
艦磁研, 石井 義哲, 廣田 恵 Naval Ship M&UEP R.C., Yoshiaki ISHII, Megumi HIROTA E-mail: ishi@nmurc.com

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

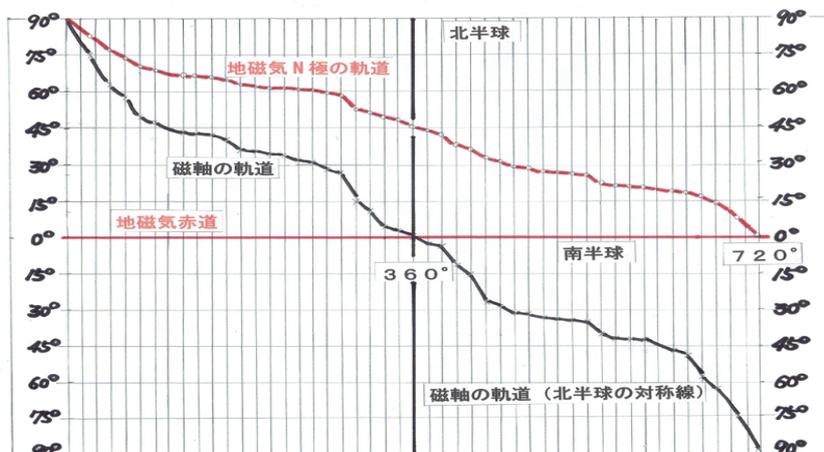
モータージャイロ回転方向	内核の回転方向	時計回りCW
モータージャイロ回転軸の軌道	内核の磁軸の軌道	グラフ黒折線
	地磁気N極の軌道	グラフ赤折線
テーブル回転方向	外核の回転方向	反時計回りCCW



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。

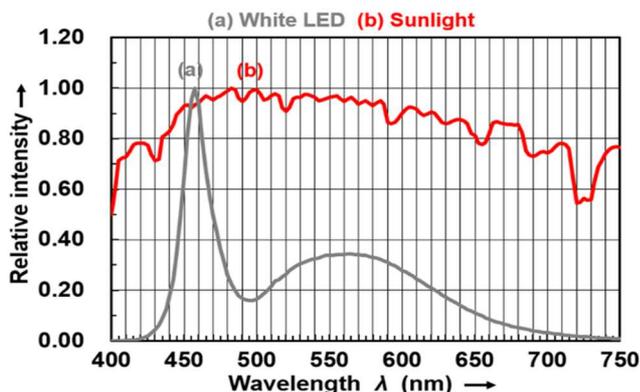


Fig.1 Relative intensity as to the emission spectrum of the (a) White LED and the (b) Sunlight

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、130000lx 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

により Fig.2 Measuring system of the LED generating voltage and current for irradiation of the sunlight using the color holder 左右の振りおよび高さが調節できるようになっている。

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。

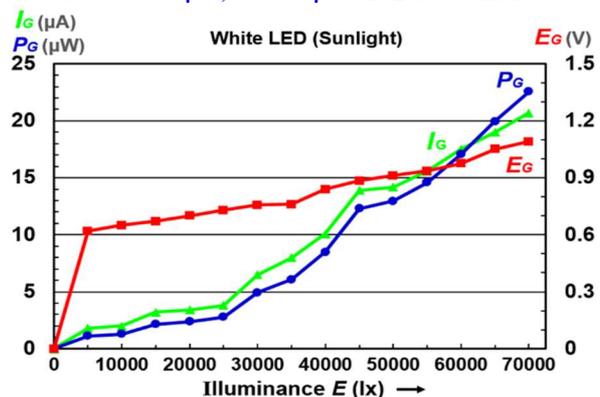


Fig.3 Characteristics of the White LED as to the generating voltage, current and electric power for irradiation of the sunlight

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1a)と、それに対応する合成コンデンサーの問題(図1b)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1aの合成抵抗 $R_{ab}(R)$ に対して、図1b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1aの合成抵抗 $R_{ab}(R) = 1.25R$ の場合、 $C_{ab}(C) = 0.8C$ となる。

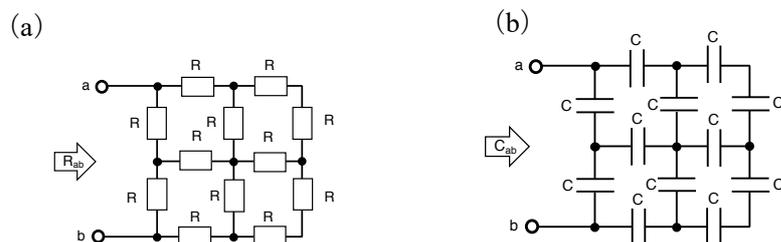


図1 難しい合成抵抗の問題 (a) と対応する合成コンデンサーの問題 (b)

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」.

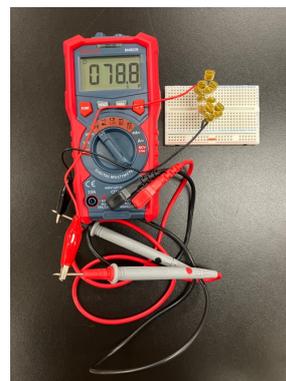


図2 マルチメータによる測定結果. 表示は、 78.8nF を示している.

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。

表1. 概略仕様

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

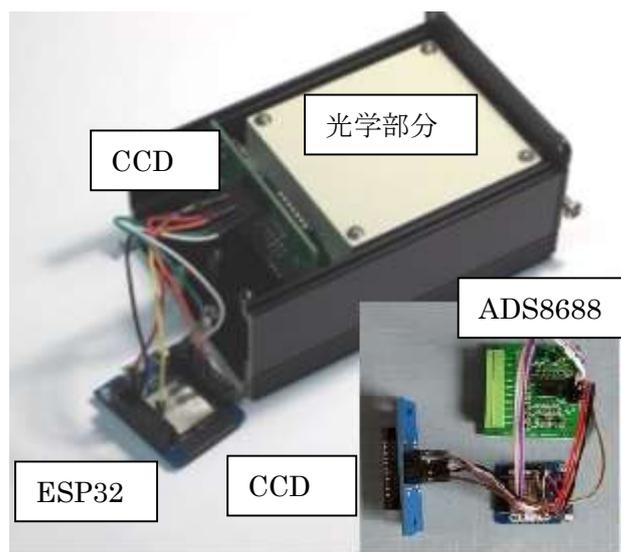


図1. 簡易分光器によるLEDの測定結果、表1に示した設計仕様を概ね満たすことができた。

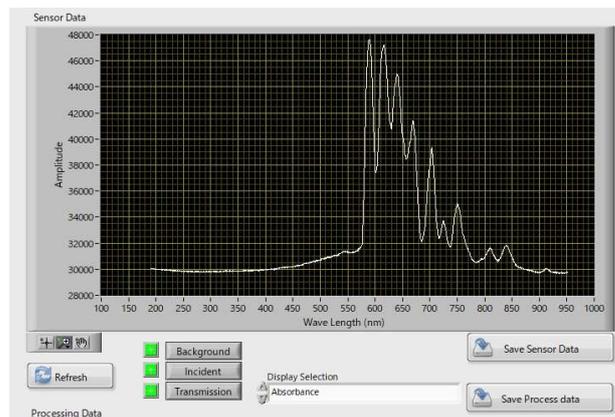


図2. 測定ソフト

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)

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、色と波長が一对一对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一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簸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)はおそらく酸化鉄由来の赤みを呈し、サンプル(B)は鉄の還元由来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。

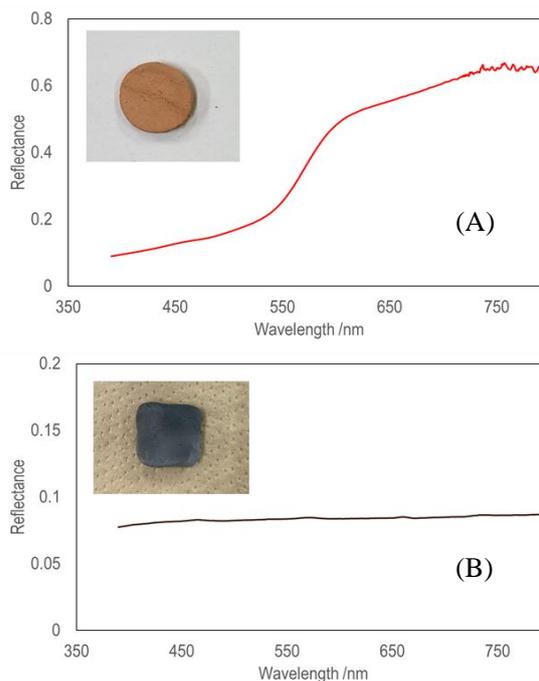


図 1 サンプルと反射スペクトル。

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ぶことが確認できた。

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ヤダイオードの改良", 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。

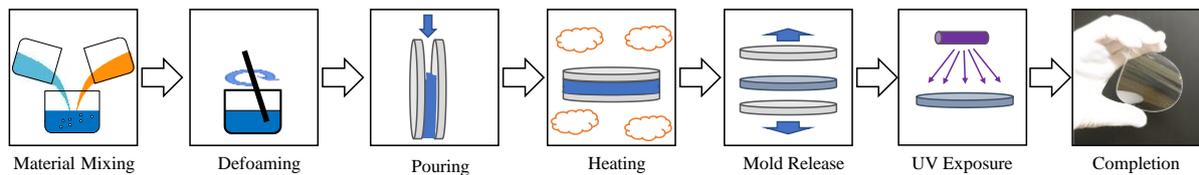


Fig.1 Process of plastic manufacturing with UV surface modification

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ラを用いて 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。

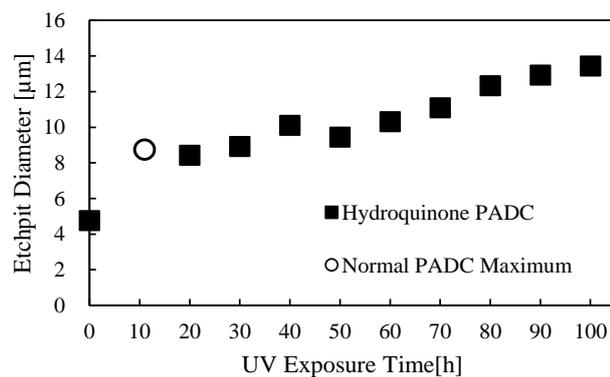


Fig.2 Etch pit diameter depending on UV exposure time

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))。スピンドーターを用いて 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考える。

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)

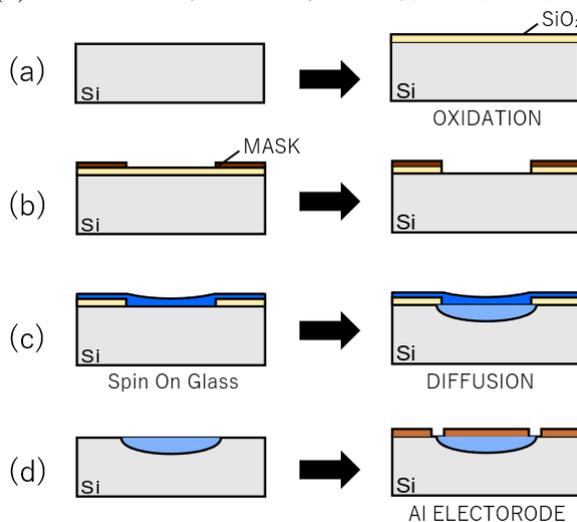


Fig. 1. Fabrication of p-n junctions by SOG.

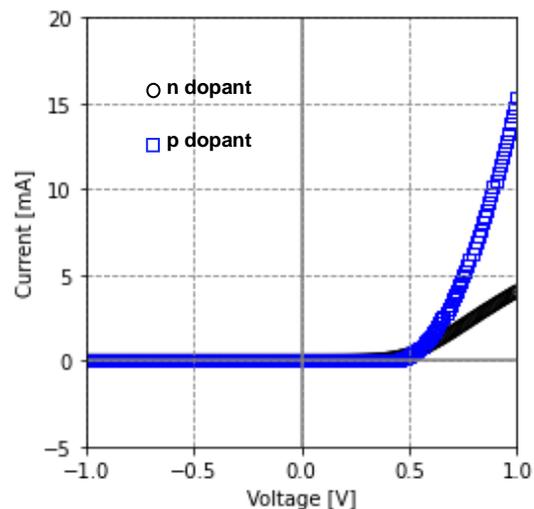


Fig. 2. V-I characteristics.

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, 20×20 [mm²] 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[°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[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)

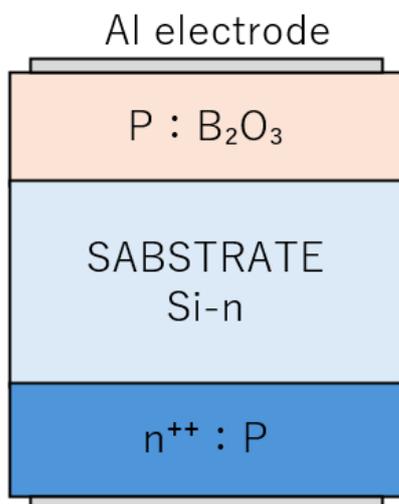


Fig. 1. Cross-section schematic of photodiode.

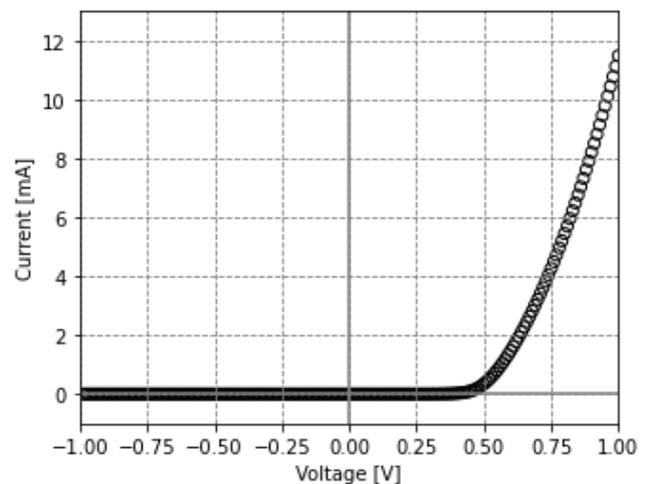


Fig. 2. V-I characteristics.

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 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (BSCCO) の作製[1]とクエン酸エッチングによる最小幅 $75\mu\text{m}$ 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 $10 \times 10 \times 0.5 \text{ mm}$ 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)エイブル製のスピナー (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、 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ および $600 \sim 1000^\circ\text{C}$ の範囲とし、雰囲気は O_2 , 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 $3.2 \sim 3.3 \text{ eV}$ 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 [$^\circ\text{C}$]	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 [$^\circ\text{C}$]	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, ^{○(MIC)}小倉 博人¹, 原田 亮¹, 内田 ヘルムート貴大¹

Tokai Univ.¹, ^{○(MIC)}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.

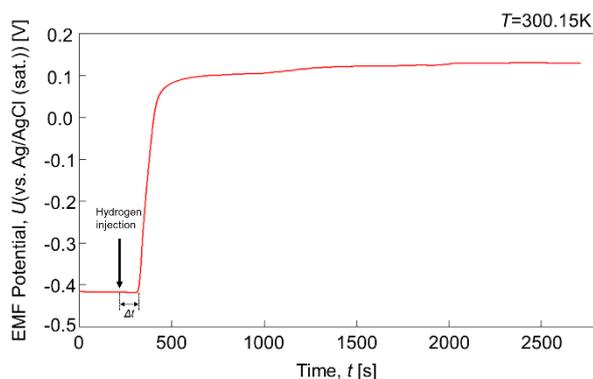


Fig. 1 Time evolution of the measured EMF values at the output side (electrolyte side) of the hydrogen permeation experiment in the outward direction using a Pd tube sample with hydrogen gas inside (H_2 gas was introduced into the tube at time indicated by the arrow).

- [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』, までりあ, **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)。

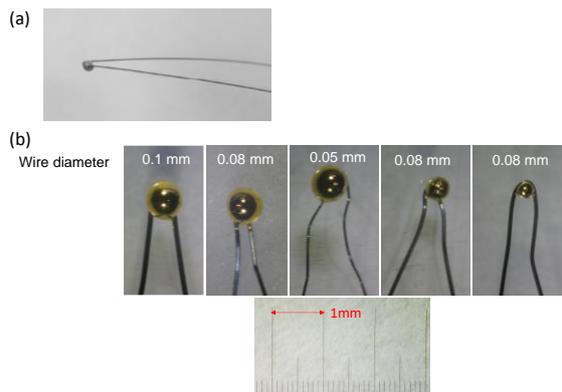


Fig. 1 Various types of soft probes.

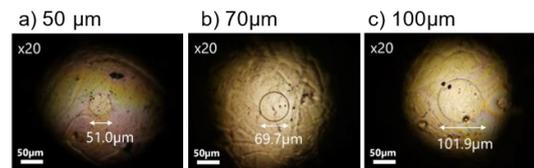


Fig. 2 Area-controlled Pt probes.

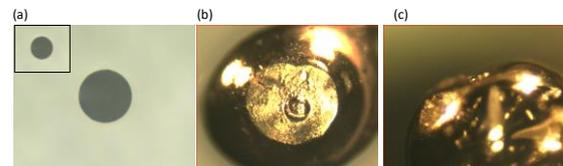


Fig. 3 Glass hole(a) and probe with convex made by the glass.

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て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を観察し、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 $3.7\sim 3.8\ \mu\text{m}$ 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 $3\ \mu\text{m}$ 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 $1.34\sim 1.35$ 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。

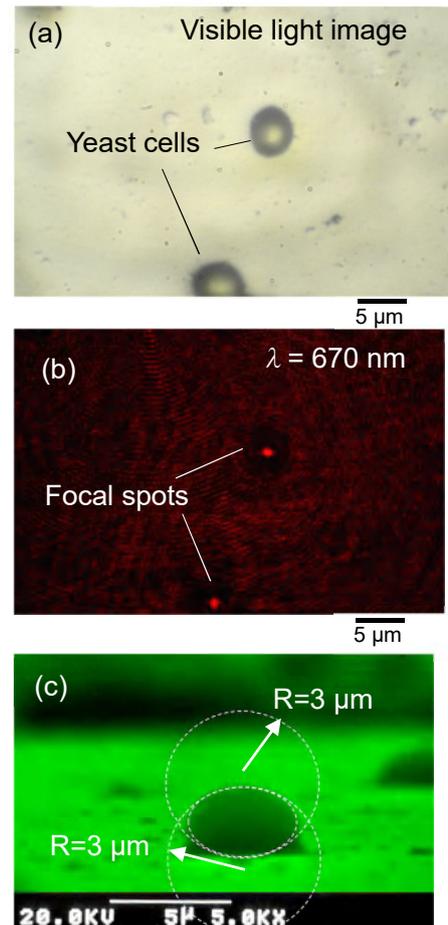


Fig. 1 Optical microscope and SEM images of yeast cells: (a) visible light, (b) focused image of semiconductor laser light, (c) SEM image and radius of curvature.

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

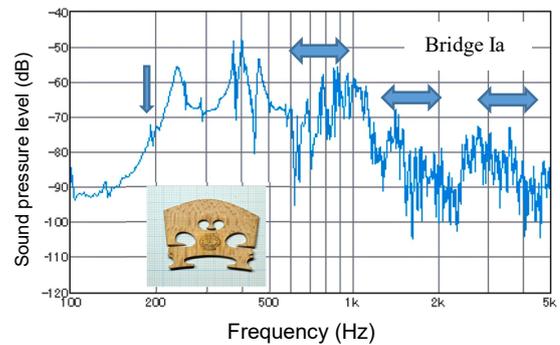
Tokyo Institute of Technology ○Akihiro Matsutani

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

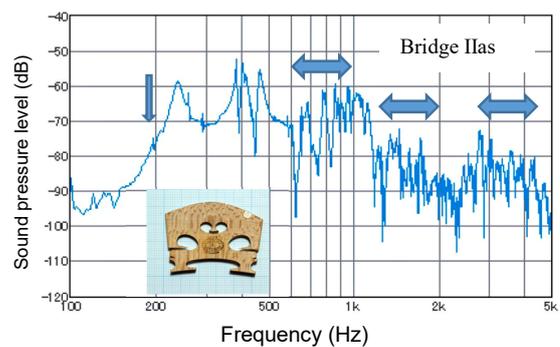
弦楽器は共鳴箱としての胴体に弦を張って弦をはじいたり擦ったりして弦を振動させることで音を発する。ヴァイオリンやヴィオラ、チェロでは、4本の弦を支える駒が弦と胴体の間にあり、弦の振動を胴体に伝える役割を担っている。4本の弦により駒に生じる応力状態はエポキシ樹脂の駒を用いた光弾性実験により観察でき、筆者はその結果を以前に報告した[1]。駒については、その大きさや高さによって楽器の音色（周波数特性）が変わることは経験的によく知られているが、駒の形状のわずかな違いと楽器の周波数特性の実際に報告された例はほとんど見当たらない。今回は、筆者のヴィオラの駒を交換する機会を利用してヴィオラの駒の形状の違いと周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

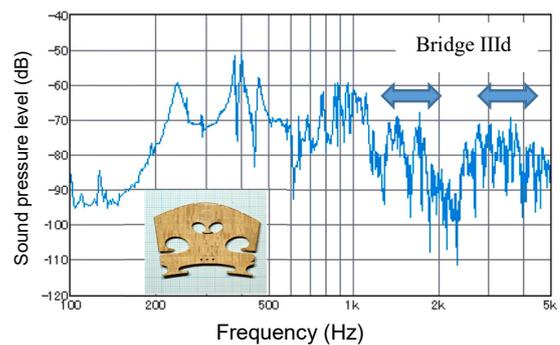
[1] A. Matsutani, Jpn. J. Appl. Phys. **41** (2002) 6291. [2] A. Matsutani, Acoust. Sci. & Tech. **44**, 3 (2023) 302.



(a)



(b)



(c)

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

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 億円相当の金が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。

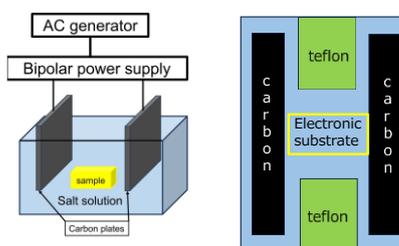


Fig. 1: Schematics of the apparatus (left) and the improved geometry of the apparatus (right).

【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. Agusu², 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.

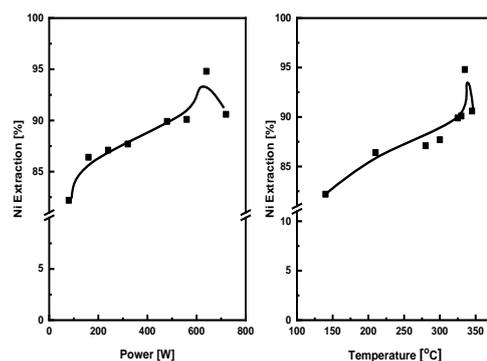


Fig. 1. The percentage of nickel extraction

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 征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果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°C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。

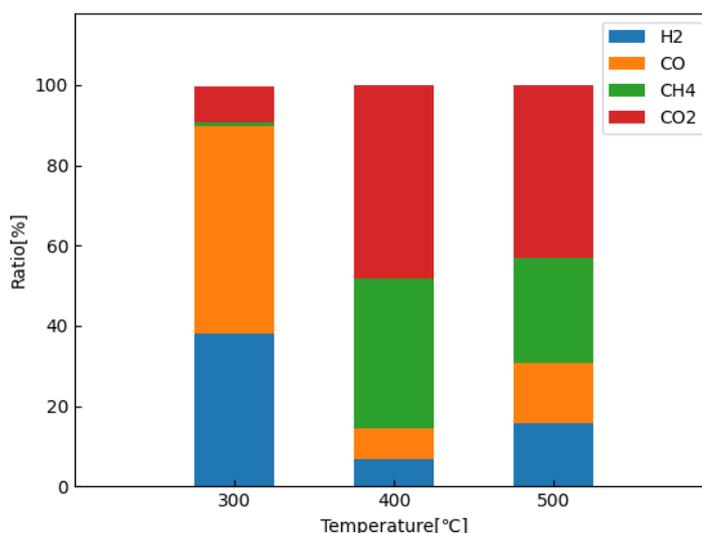


Fig1. Proportion of gas generated at each temperature

[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).

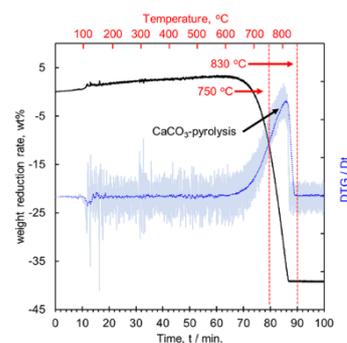


図1 Ni/ CaCO_3 基板 TG 測定結果

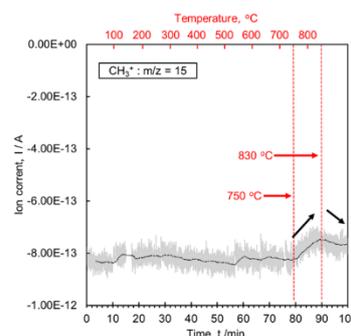


図2 Ni/ CaCO_3 基板 QMS 測定結果

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 雰囲気下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-Aldrich99.999%) 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。

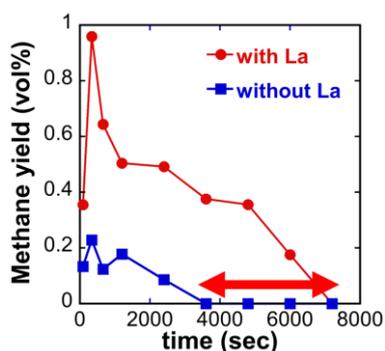


Fig.1 Methane yield over time

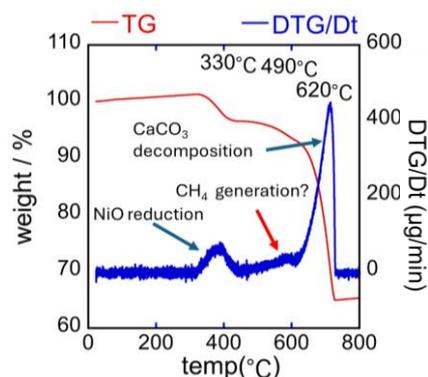


Fig.2 result of Ar-H₂ flow TG

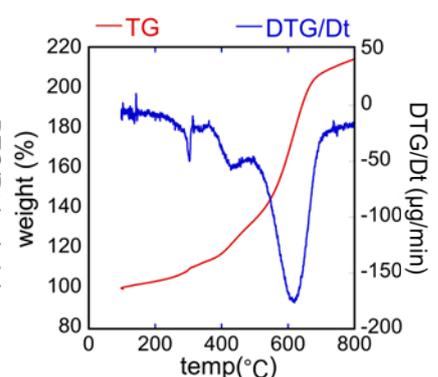


Fig.3 result of CO₂ flow TG

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¹Tokai 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。

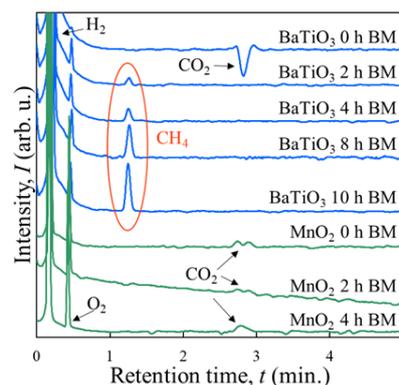


Figure 1. Gas Composition Analysis

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)遠田和太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

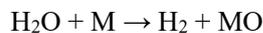
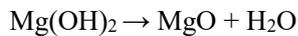
近年、既存のエネルギーの代替として、水素 (H₂) をエネルギーキャリアとして活用する方法が研究されている。しかし、H₂ は単体で地球上にはほぼ存在しないため、化合物からの分解過程を経て生成する必要がある。先行研究において、ボールミルを用いたメカノケミカル法による水からの H₂ 生成が可能であることが確認されている [1]。また、CO₂ のメタン化に関する研究において、水酸化物中の H がメタン生成に寄与しており、これは、水酸化物からの H₂ 生成が可能であることも示されている [2]。そこで、本研究では、メカノケミカル法による水酸化物からの H₂ 生成の可能性について検討することを目的とする。

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。

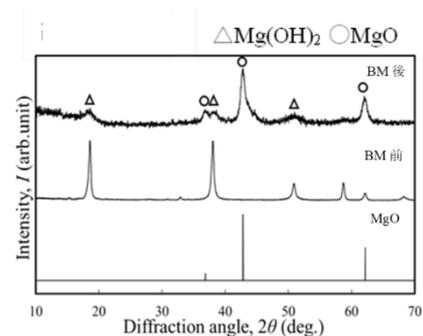


図 BM 後試料の XRD 測定結果

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 Al(OH)₃

(M2) 宍倉 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 CO₂ 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 CO₂ 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]。CO₂ 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 CO₂ 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 Al(OH)₃ のボールミルによる H₂ 生成の可能性を調べることを目的とした。Al(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、H₂ 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 (α -Al₂O₃) 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、Al(OH)₃ から Al₂O₃ 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、H₂ が生成したと考えられる。

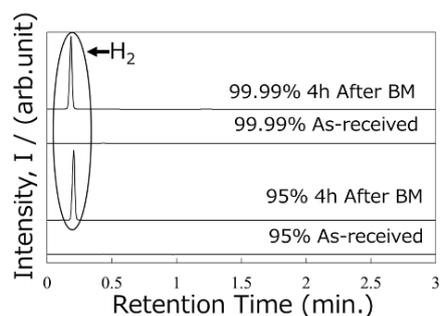


Figure 1 Gas chromatography measurement results

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修士論文 (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、材料自体が重い場合、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

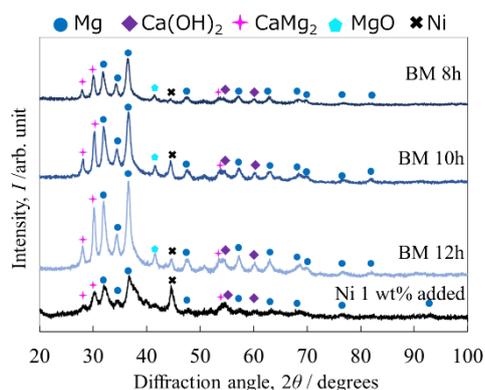


Figure 1 XRD results of prepared samples

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

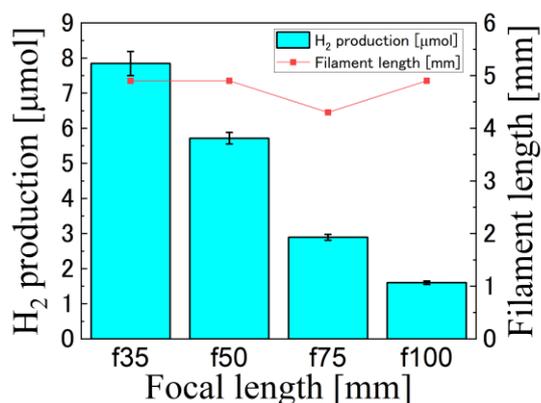


図 1 各焦点距離での水素生成量

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。

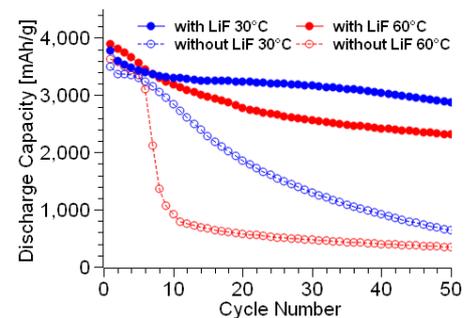


Fig.1 Cycle performance of Si negative electrodes with and without LiF layer at 30°C and 60°C.

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.

Li₃Fe₂(PO₄)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 Li₃Fe₂(PO₄)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 Li₃Fe₂(PO₄)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 Li₂CO₃、Fe₂O₃、NH₄H₂PO₄ 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(Al₂O₃)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 Li₃PO₄ 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。Al₂O₃ 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.

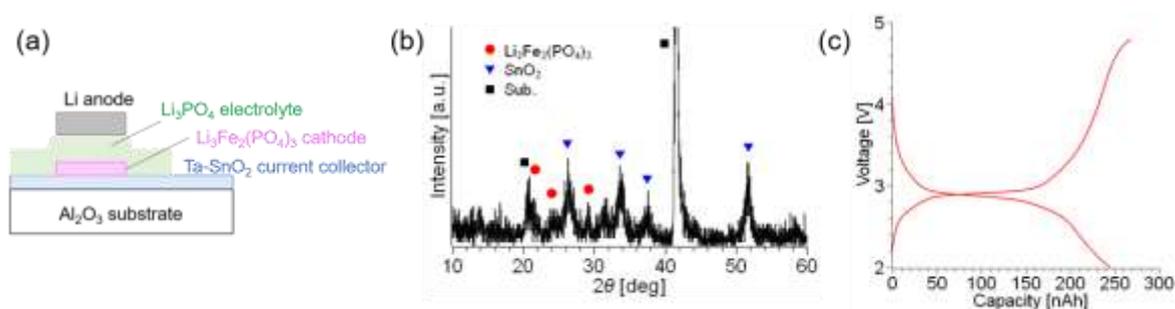


Fig. 1 (a) Schematic illustration, (b) XRD pattern, and (c) charge and discharge characteristics of all-solid-state battery using Li₃Fe₂(PO₄)₃ positive electrode.

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



○^(M10) 峯越 大輝¹, 山内 里沙¹, ^(M10) 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. Migliorini, 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。

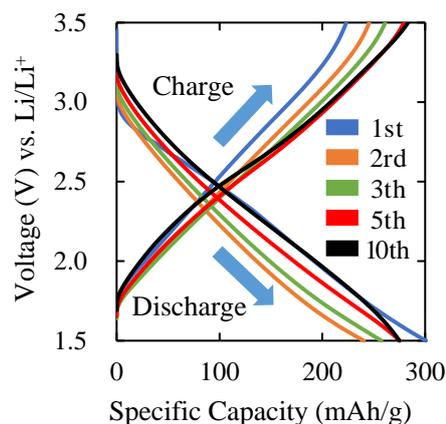


Fig. 1. Charge-discharge profiles of lithium-ion battery using $15\text{Li}_2\text{O}\cdot 10\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 5\text{P}_2\text{O}_5\cdot 70\text{V}_2\text{O}_5$ glass as a cathode active material (current density: 150 mA/g).

[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. °Tepei Nishi, Naonari Sakamoto, Keita Sekizawa,

Takeshi Morikawa, Shunsuke Sato

E-mail: tepei-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 水溶液中でプ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 の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。

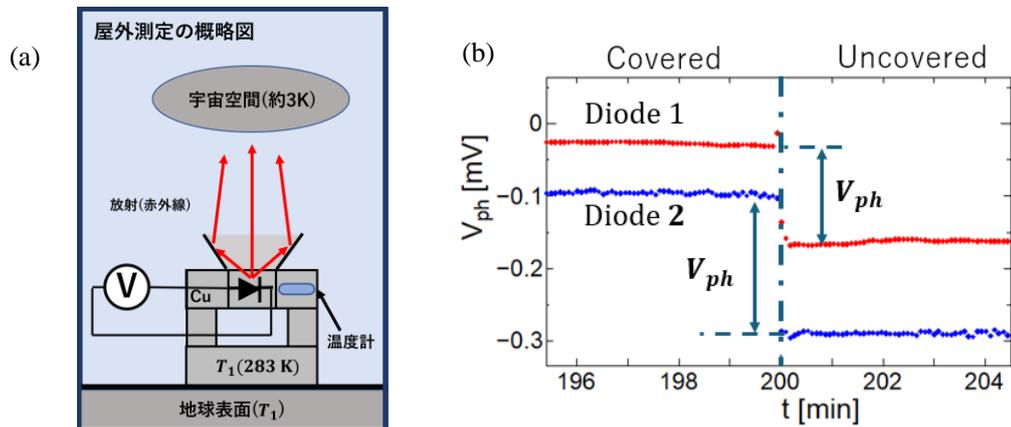


Fig. 1 (a) Schematics of experimental setup for measurement of negative illumination photovoltaic effect. (b) Photovoltage of InAsSb diode as a function of cold bath temperature T_2 .

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°C 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 Kα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-2θ 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°C 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°C 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°C 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.

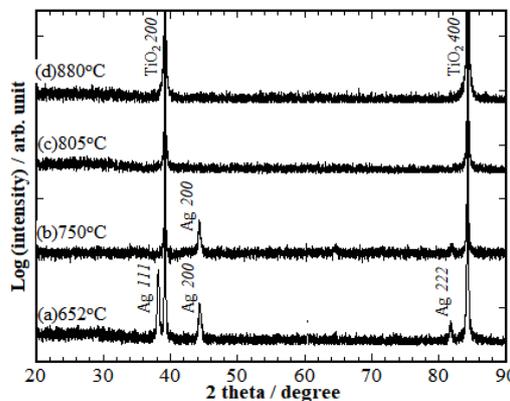


Fig. 1 X-ray diffraction θ-2θ scan profiles of the Si-Fe deposits onto Ag/ (100)TiO₂ substrates at (a) 652, (b) 750, (c) 805 and (d) 880°C.

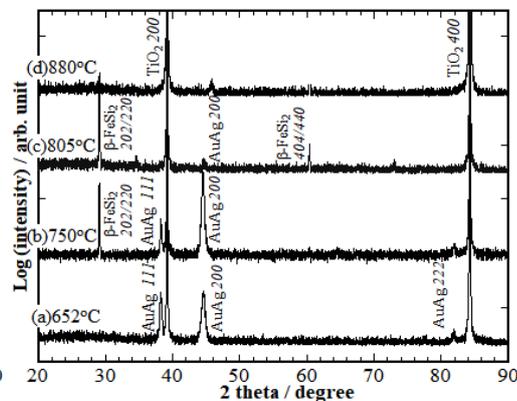


Fig. 2 X-ray diffraction θ-2θ scan profiles of the Si-Fe deposits onto 30at%Au-70at%Ag/ (100)TiO₂ substrates at (a) 652, (b) 750, (c) 805 and (d) 880°C.

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, 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

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 2 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.

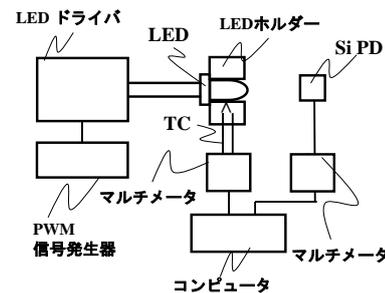


図.1 Duty 比制御安定化パルス LED 光源。

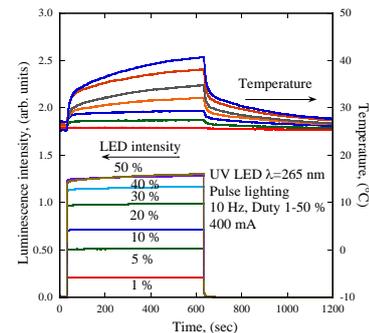


図.2 Duty 比 1-50% のパルス点灯による UVC LED の温度および、発光強度。

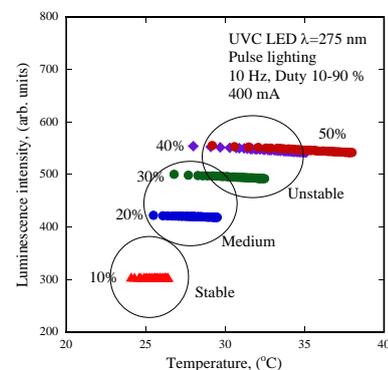


図 3. UVC LED 光源の発光強度と温度。

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の実験に悪影響がある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.

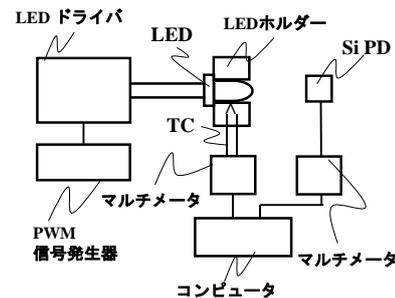


図 1 Duty 比制御安定化パルス LED 光源。

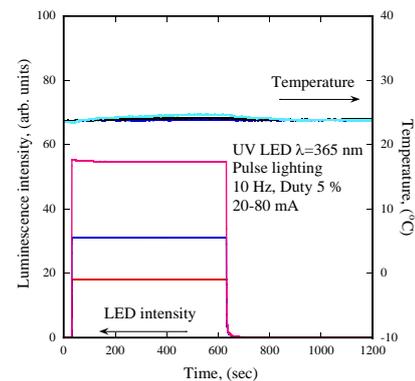


図 2 Duty 比 5% で点灯した LED の温度および発光強度変化。

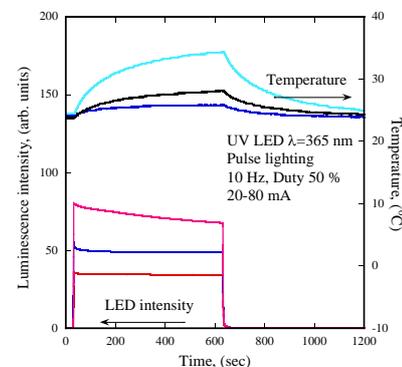


図 3 Duty 比 50% で点灯した LED の温度および発光強度変化。

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.

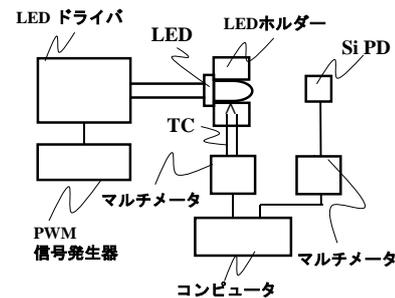


図.1 Duty 制御安定化パルス LED 光源。

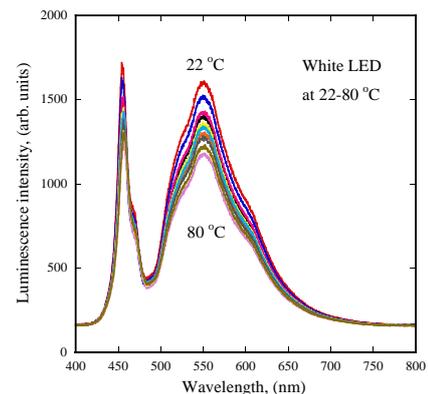


図.2 点灯による LED の発光スペクトルの変化。

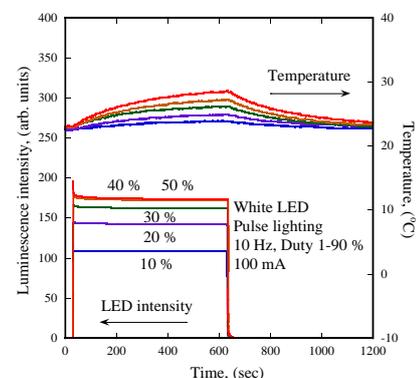


図 3. 白色 LED の発光強度と温度の変化。

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. ¹Hiroki 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性を求めた。

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 デバイス上にある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。

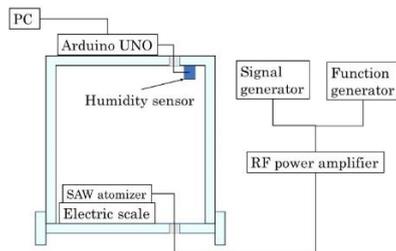


Fig. 1. SAW atomization system.

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の湿度と霧化量の関係性を示している。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。

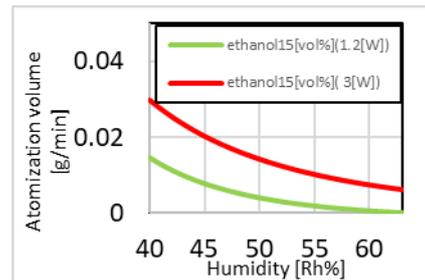


Fig. 2. Relationship between humidity and atomization volume.

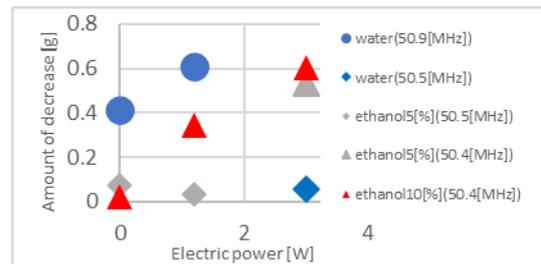


Fig. 3. Decrease in each power

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

阪工大¹, 阪工大研究推進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。

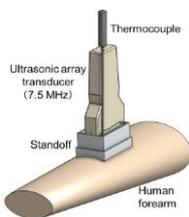


Fig. 1. Experimental setup for UVC imaging

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) が見られる。

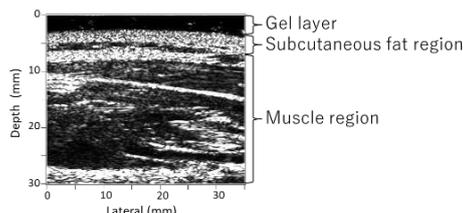


Fig. 2. B-mode image of human forearm

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。

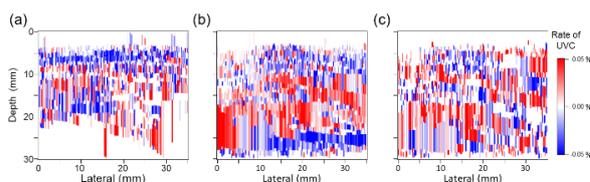


Fig. 3. UVC images obtained from data collected 9 seconds after the gel temperature reached at (a) 11 °C, (b) 19 °C, and (c) 24 °C, respectively.