

1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology | Poster presentation : 1
Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology (Poster)

[8p-P01-1~65] 1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology (Poster)

[8p-P01-1]

Exploring the Effects of Population Density on the Evolution of Cooperative Behavior

○Hirofumi Nema¹ (1.KIT)

[8p-P01-2]

Transition Metal-Induced Defect Engineering in Wide Bandgap Halide Double Perovskites Towards Enhanced Photophysical Properties.

○(DC)Aakash Singh¹, Sai santosh Kumar Raavi¹, Santosh Gupta² (1.Indian Institute of technology Hyderabad, 2.Bhabha Atomic research centre)

[8p-P01-3]

Dynamics of Impact-Driven Granular Jets: Effects of Particle Size

○Riku Kodama¹, Koumei Jinbo¹, Masakazu Muto², Rei Kurita³, Kazuya Kobayashi¹ (1.Nippon Inst. Tech., 2.Nagoya Inst. Tech., 3.Tokyo Metro. Univ.)

[8p-P01-4]

Impact-Induced Granular Ejection and Jet Dynamics: Effects of Granular Adhesion

○Keiijiro Nara¹, Masakazu Muto², Rei Kurita³, Kazuya Kobayashi¹ (1.Nippon Inst. Tech., 2.Nagoya Inst. Tech., 3.Tokyo Metro. Univ.)

[8p-P01-5]

Controlling Janus Particle Dynamics Using Local Phase Change Induced by Laser Irradiation

○Kotaro Takano¹, Toshiharu Saiki¹, Shogo Hatayama², Kotaro Makino² (1.Keio Univ. Saiki lab., 2.SFRC, AIST)

[8p-P01-6]

Investigation of Quantitative Evaluation of Shear Phenomena in Organic Thin Films: Introduction of Persistent Homology

○(B)Shima Ishisaki¹, Kazuhiro Tada¹ (1.NIT, Toyama College)

[8p-P01-7]

Education trial on radiation for quantitative understanding in NIT, Fukui

○Tomoharu Hasegawa¹, Satoshi Tsuchida¹ (1.NIT, Fukui College)

[8p-P01-8]

Development of learning materials for microcontroller programming using full-color LEDs

○Wakana Ohnaka¹, Tatsuya Fujimoto¹, Hideaki Yanagisawa¹, Misako Urakami¹, Hideaki Murotani¹ (1.NIT, Tokuyama Coll.)

[8p-P01-9]

An Application for Illumination Based on the Storage of Electricity as to Power Generation Using the LED with the Solar Tracking System

○Shizuo Yamaguchi¹ (1.Kyu-Kyo Univ.)

[8p-P01-10]

Educational Tool Combining Virtual Reality and Mixed Reality

-Application for Artistic Creation-

○Rakuto Yamazaki¹, Shintaro Hiratsuka¹, Sora Tanaka¹, Daisuke Sakai¹ (1.Kitami Inst. of Tech.)

[8p-P01-11]

Research on the edible use of artificial mirages

○Tamaki Miwa¹, Kenji Sugawara¹, Kenji Harada¹ (1.Kitami Inst of Tech.)

[8p-P01-12]

Fabrication of polarization color teaching materials that mimic jewelry bubbles observed in Lake Kussharo

○Reiya Yamada¹, Ryoga Yanagihara¹, Gakuto Okamura¹, Kenji Harada¹ (1.Kitami Inst of Tech)

[8p-P01-13]

Polarization dependence of laser transmission intensity due to birefringence and magnetically induced dichroism

○(B)Kotaro Murakami¹, Toya Matsumoto¹, Shinya Matsutomo¹, Kyoya Fukuda¹ (1.NIT, Niihama College)

[8p-P01-14]

Preparation of Learning Resources for Fractals

○Hirofumi Nema¹ (1.KIT)

[8p-P01-15]

Development of IoT teaching materials combining odor and human detection sensor

○Yuji Hiratani¹ (1.Suwa Univ. of Sci.)

[8p-P01-16]

Optical model for the light collecting role for water droplets on the plant leaf surface and induced water physiology

○(M1)Hiroto Sakai¹, Tomonori Kawano¹ (1.Univ. Kitakyushu)

[8p-P01-17]

Development of a Wave Optics System
Using a Digital Micromirror Device Evaluation Module

○(B)Yota Noda¹, Kohno Takuya¹ (1.NIT, Gifu College)

[8p-P01-18]

Construction of Semiconductor Education by Practical Microfabrication at Gifu Kosen

○Hitoe Habuchi¹, Tetsuya Fukunaga¹, Tamio Iida¹, Eiji Shiraki¹ (1.NIT, Gifu College)

[8p-P01-19]

Analysis of Uncertainty Causes in Velocity Estimation
Using LED Light Sensor Reception Width

○(B)Shunya Hosono¹, Ryoya Sato¹, Takuya Kohno¹ (1.NIT, Gifu College)

[8p-P01-20]

Evaluation of Uncertainty in Velocity Estimation from Considering Spatial offset of the incident laser

○(B)Ryoya Sato¹, Shunya Hosono¹, Takuya Kohno¹ (1.NIT, Gifu College)

[8p-P01-21]

Investigation of Silicon Solar Cell Materials Using Liquid Metal as Electrode

Mako Tanabe¹, OAtsushi Utsumi¹, Yuichi Ashida¹, Ippei Ishikawa¹, Shuji Kiyohara¹ (1.NIT, Maizuru College)

[8p-P01-22]

Investigation of an Easy Evaluation Approach for Thermoelectric Characteristics of Semiconductor Materials

Syunsuke Sawai¹, OAtsushi Utsumi¹, Yuichi Ashida¹, Ippei Ishikawa¹, Shuji Kiyohara¹ (1.NIT, Maizuru College)

[8p-P01-23]

Fundamental Study on pn Junction Evaluation Method Using Laser Light

Ibuki Shikata¹, OAtsushi Utsumi¹, Yuichi Ashida¹, Ippei Ishikawa¹, Shuji Kiyohara¹ (1.NIT, Maizuru College)

[8p-P01-24]

Study on the Improvement of Solubility of Educational Radiation Detector PADC by Annealing Treatment

OHayato Ogawa¹, Ippei Ishikawa¹, Shuji Kiyohara¹, Atsushi Utsumi¹ (1.NIT (KOSEN) Maizuru)

[8p-P01-25]

Optimization of Processing Conditions for Shortening PADC Etching Time in Educational Use

OSatoshi Kondo¹, Ippei Ishikawa¹, Shuji Kiyohara¹, Atsushi Utsumi¹ (1.NIT(KOSEN)Maizuru)

[8p-P01-26]

Improvement of pn Junction Forming Accuracy by Mask Fabrication Using a Cutting Machine

O(B)Nana Kobayashi¹, Katsuki Watabe¹, Shinnosuke Idogawa¹ (1.NIT, Kushiro College)

[8p-P01-27]

Prototype of a simple spectrometer using a 3D printer

OTakeshi Matsumoto¹ (1.MatsumotoPrecision)

[8p-P01-28]

Development and Evaluation of Educational Materials for Battery Human Resource Training through Industry-Academia-Government Collaboration

OSatoru Yamada¹, Tomomichi Kagawa², Tatsuya Matsue², Naoki Shimada¹, Youhei Kurabe¹ (1.NIT, Ishikawa, 2.NIT, Niihama)

[8p-P01-29]

Independent research in the " University of Fukui STELLA Program" inquiry program

OKazuyoshi Kurihara¹, Nobu Kuzuu¹ (1.Univ. of Fukui)

[8p-P01-30]

Evoked Positive Emotions of the Learners During the Activities Using ICT

OKumi Soe¹, Hiroyuki Itoh² (1.Chuo Univ., 2.Ochanomizu Univ.)

[8p-P01-31]

Particle separation and recovery using Janus particles with induced charge electroosmotic flow

ONeo Ookubo¹, Toshiharu saiki¹ (1.Keio Univ.)

[8p-P01-32]

Fabrication of microfluidic devices by applying titanium nanosurface modification

○Sora Watanabe¹, Masahiro Yamada², Yasuko Yanagida¹ (1.Science Tokyo Future Lab, 2.Tohoku Univ Dentistry)

[8p-P01-33]

Spectroscopic Measurement of Diffracted Light from Coffee Ring Formed by Polystyrene Microbeads

○Akihiro Matsutani¹ (1.Science Tokyo)

[8p-P01-34]

Crystal growth of semiconducting iron-silicide from vapor phase on (100) rutile-TiO₂ single crystal coated by AuCu alloy layer

○Kensuke Akiyama¹, Kazuharu Sobue¹ (1.Kanagawa Inst. Ind. Sci. Tech.)

[8p-P01-35]

Evaluation of Formic Acid Production in the CO₂ Reduction Reaction Using a WO₃-Photocatalytic Electrode

○Tsugumi Miyamoto¹, Takehisa Shibuya² (1.Grad. Sch. Eng., Tokai Univ., 2.Sci. Edu. Ctr.)

[8p-P01-36]

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

○Sota Arakawa¹, Rimpei Shibata¹, Satomi Fujisaki¹, Kazko Manpuku², Masaya Suzuki², Yuichi Kouno³, Goh Mitoya³, Akio Yoneyama⁴, Ichiro Hirose⁴, Noriyuki Yoshimoto¹ (1.Iwate Univ., 2.AIST, 3.Higashi-Nihon Kidenkaiatsu Co.,Ltd, 4.SAGA-LS)

[8p-P01-37]

Utilization of Impurity-Doped Ni(OH)₂ Thin Films in Electrodes for the Oxygen Evolution Reaction

○Rikuto Kono¹, Koji Abe¹ (1.Nagoya Inst. Tech.)

[8p-P01-38]

Graphitic Carbon Nitride Modified Graphite Felt for Vanadium Redox Flow Battery

○YuXian Lee¹, ShihHsuan Chen¹, WeiHao Chiu¹, TingHan Lin¹, KunMu Lee¹ (1.Chang Gung Univ.)

[8p-P01-39]

High-capacity design of silicon anodes through particle size reduction and porous structuring

○(M2)Hidetaka Nomura¹, Keisuke Sato¹ (1.Tokyo Denki Univ.)

[8p-P01-40]

Composition Optimization of Co-Containing Vanadate Glass for Air-Electrode Catalysts

○(M2)Hiroki Minegoshi¹, Hyuga Nakahara¹, Hikaru Kawakubo¹, Koki Hayashida¹, Tetsuaki Nishida², Nobuto Oka¹ (1.kindai Univ., 2.Environmental Materials Inst.)

[8p-P01-41]

Charge-Discharge Characteristics of Lithium-Ion Batteries Using Cr^{III}-Containing Phosphovanadate Glass as the Cathode Active Material

○(M2)Koki Hayashida¹, Hiroki Minegoshi¹, Keiji Kaneyama¹, Tetsuaki Nishida², Nobuto Oka¹ (1.Kindai Univ., 2.Environmental Materials Inst.)

[8p-P01-42]

Density functional theory analysis of S-Scheme charge transfer at $\text{WO}_3/\text{C}_3\text{N}_5$ interface

○Shusuke Yoneyama¹, Kosei Ito¹, Fons Paul¹, Kei Noda¹ (1.Keio univ.)

[8p-P01-43]

Control of Hovering for EHD and Electrostatic Propulsion System by Computer Vision

○Taku Saiki¹ (1.Kansai Univ.)

[8p-P01-44]

Analysis on Moving Velocity and Acceleration using Computer Vision for Magnetic Levitation and Propulsion Bike with Two Magnetic Wheels

○Taku Saiki¹, Takeru Kunimura¹, Norito Nishikawa¹, Mitsuru Inada¹ (1.Kansai Univ.)

[8p-P01-45]

Development of Large Magnetic Wheel with Halbach Array for Magnetic Levitation and Propulsion System

○(M1)Norito Nishikawa¹, Taku Saiki¹, Yuuki Kagawa¹, Mitsuru Inada¹ (1.Kansai Univ)

[8p-P01-46]

Development of axial gap motors using iron nanoparticles

○Hiroto Koyakata¹, Hodaka Osawa¹, Taku Saiki¹, Mitsuru Inada¹ (1.Kansai Univ.)

[8p-P01-47]

Development of Power Beaming System Using Near Infrared Laser and CV for Automatic Control of Beam Direction

○Sota Arima¹, Taku Saiki¹ (1.Kansai Univ.)

[8p-P01-48]

Generation of Crude Hydrogen from Waste and Its Utilization in Methanation Using Microwave Heating

○Toshiyuki Mizutani¹, Kageyama Yota¹, Abdi Karya I Putu¹, Kohei Nakagawa², Toyohiko Nishiumi¹, Takayuki Asano^{1,2}, Seitaro Mitsudo^{1,2} (1.Dept. of Applied Phys., Univ. of Fukui, 2.FIR, Univ. of Fukui)

[8p-P01-49]

Investigation of CH_4 Formation Reaction from Ni-Additive Carbonates

○Tomoaki Yoshida^{1,2,3}, Yosuke Okamoto³, Ryota Gemma^{1,2,3} (1.Tokai Univ. Grad. Sci. and Tech., 2.Tokai Univ. MNTC, 3.Tokai Univ. Grad. Eng.)

[8p-P01-50]

Methane generation from Pd-supported CaCO_3 (100) single crystal substrate in hydrogen atmosphere

○Ren Sato¹, Tomoaki Yshida^{2,3}, Ryota Gemma^{1,2,3} (1.Grad. School of Eng. Tokai Univ., 2.Grad. School of Sci. and Tech. Tokai Univ., 3.MNTC Tokai Univ.)

[8p-P01-51]

CH_4 generation by mechanical milling of $\text{Al}(\text{OH})_3$ with air in ZrO_2 vial

○Yuma Terabayashi¹, Tomoaki Yoshida^{2,3}, Kyosuke Shishikura¹, Ryota Gemma^{1,2,3} (1.Grad. Sch. of Eng. Tokai Univ., 2.Grad. Sch. of Sci. and Tech. Tokai Univ., 3.MNTC Tokai Univ.)

[8p-P01-52]

Explainable AI for utility-scale solar PV Site Selection: random forest-SHAP Analysis of land suitability factors for ground-mounted solar installations in Japan

○(DC)Sangay Gyeltshen¹ (1.Nagoya University)

[8p-P01-53]

Electrical evaluation of SnO₂ coated SUS separators for the application of fuel cells and hydrogen generation

○Isao Takahashi¹, Nobuaki Hagiwara², Takashi Tanaka³, Koichi Matsuo⁴, Kentaro Kaneko¹ (1.ROST, Ritsumeikan, 2.Col. of Sci. & Eng. Ritsumeikan, 3.Eyetec, 4.Iwasaki electric Co.)

[8p-P01-54]

Microwave CT diagnostics of cryogenic fluids

○(B)Ginji Takahashi¹, Soichiro Yamaguchi¹ (1.Kansai Univ.)

[8p-P01-55]

Energy Harvesting as Power Supplying for Mobile Sensor Nodes

○Takashi Yoshikawa¹ (1.KUTC)

[8p-P01-56]

The relationship between separating plate shape and separation efficiency in a seawater-oil separator using Lorentz body forces

○Kenji Amorim¹, Koki Shiraishi¹, Yuki Akita¹, Kohei Asano¹, Yuji Iwamoto¹, Teruhiko Akazawa¹ (1.Kobe Univ.)

[8p-P01-57]

Evaluation of Products in Repeated Decomposition of High-Density Polyethylene by Microwave Heating

○Kohei Nakagawa¹, I Putu Abdi Karya², Toshiyuki Mizutani², Masakatsu Fujii², Toyohiko Nishiumi², Fumihiro Nishimura³, Takayuki Asano^{1,2}, Seitaro Mitsudo^{1,2} (1.FIR, Univ. of Fukui, 2.Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui, 3.HISAC., Univ. of Fukui)

[8p-P01-58]

Microwave-assisted Decomposition of Lignin into Hydrogen and Carbon Material

○I Putu Abdi Karya¹, Toshiyuki Mizutani¹, Kohei Nakagawa², Fumihiro Nishimura³, Toyohiko Nishiumi¹, Takayuki Asano^{1,2}, Seitaro Mitsudo^{1,2} (1.Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui, 2.FIR, Univ. of Fukui, 3.HISAC, Univ. of Fukui)

[8p-P01-59]

Development of a precise measurement system for evaluating the thermal stability of CFRP building frame with low thermal expansion

○Takuya Kohno¹, Masahiko Taga², Daisuke Okuyama³, Yoneta Tanaka⁴ (1.NIT, Gifu College, 2.Suzuki-kogyo, 3.Laser Systems, 4.ADTEC Engineering)

[8p-P01-60]

Evaluation of Heat Loss in a Thermal Conductivity Measurement System Using Thermal Circuit Network-Based Steady-State Comparative Method

○(B)Yorito Kitakaze¹, Kosetsu Hayakawa¹, Masato Oda², Hiroyuki Ishii³, Mitsunori Honda⁴, Masakazu Muraguchi¹ (1.Hokkaido Univ of Sci., 2.Wakayama Univ., 3.Tsukuba Univ., 4.JAEA)

[8p-P01-61]

Photodegradation-free measurement of vitamin B2 in milk using a fiber-optic duty controlled pulse photoluminescence evaluation technique based on a PWM technique

Kenshin Kiso¹, OTooru Katsumata¹, Tomoki Yoshida¹, Akio Sakakura¹, Hiroaki Aizawa¹, Takeshi Matsumoto² (1.Toyo Univ., 2.Matsumoto Precision)

[8p-P01-62]

Food Safety Inspection by Microwave CT diagnostics

O(B)Hayato Miyaoka¹, Souitirou Yamaguti¹ (1.Kansai Univ.)

[8p-P01-63]

Development and Evaluation of PDMS Channels for Measuring Dissolved CO₂ in Water

OSora Yamamoto¹, Saki Kabuto¹, Yasuko Yanagida¹ (1.Institute of Science Tokyo)

[8p-P01-64]

Optimization of PDMS Channel Length for Measuring Dissolved CO₂ in Water

OSaki Kabuto¹, Sora Yamamoto¹, Yasuko Yanagida¹ (1.Tokyo Science Univ.)

[8p-P01-65]

Improvement in piezoelectricity of c-axis parallel oriented ZnO films using positive ion irradiation to substrate by DC bias sputtering

OYUYA YOSHIDA¹, Shinji Takayanagi¹, Takahiko Yanagitani² (1.Doshisha Univ., 2.Waseda Univ.)

個体密度が協力行動に与える影響の研究

Exploring the Effects of Population Density on the Evolution of Cooperative Behavior

金沢工大基礎教育部 ○根間 裕史

Kanazawa Inst. Tech. °Hirofumi Nema

E-mail: h-nema@neptune.kanazawa-it.ac.jp

公共財ゲームは、集団内における協力行動の進化を記述する代表的な理論モデルである。このモデルは、協力が個体にとってはコスト（または不利）である一方で、集団全体にとっては利益をもたらすという社会的ジレンマの構造を簡潔に表している。協力の進化に関する研究は、物理学的手法を用いたアプローチでも盛んに行われており、たとえば、グラフ構造上での相互作用や、戦略とネットワーク構造の共進化などに注目が集まっている [1, 2]。また、スケールフリーネットワークが特定の条件下で協力を促進しやすいことも報告されている [3, 4]。しかし、個体の密度が協力行動に与える影響に着目した研究は比較的少なく [5]、その効果は十分に理解されていない。これは、個体密度が動物の社会的行動に強い影響を与えることが、生物学や心理学など他分野で広く報告されていることとギャップがあり興味深い。たとえば、カルフーンはネズミの密度を高めると攻撃性の増加、共食いの発生、死亡率の増加が生じることを示している [6]。高密度環境で起こるこうした現象は、「行動の沈下 (behavioral sink)」と呼ばれて有名である。密度に起因する似たような行動変容は、霊長類やヒトでも指摘されている [7, 8]。

我々は、公共財ゲームにおいて個体密度が協力行動の進化に与える影響を、シミュレーションを用いて調べる試みしており、進展を報告する。我々の試みは、行動科学と進化ゲーム理論の接続を図るものであり、集団内の空間構造や密度が社会的協力の維持に果たす役割を明らかにすることを旨とする。また、本研究は、高密度な都市部と低密度な地方という日本社会の空間的構造における協力の変容を考察する上でも、一つの視座を提供し得ると考えている。

- [1] G. Szabo and G. Fath, Phys. Rep. **446**, 97 (2007).
- [2] M. Perc and A. Szolnoki, BioSystems **99**, 109 (2010).
- [3] F. C. Santos and J. M. Pacheco, Phys. Rev. Lett. **95**, 098104 (2005).
- [4] J. Gomez-Gardenes et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 108103 (2007).
- [5] Z. Wang et al., Phys. Rev. E **85**, 037101 (2012).
- [6] J. B. Calhoun, Sci. Am. **206**, 139 (1962).
- [7] P. G. Judge and F. B. De Waal, Anim. Behav. **54**, 643 (1997).
- [8] O. R. Galle et al., Science **176**, 23 (1972).

Transition Metal-Induced Defect Engineering in Wide Bandgap Halide Double Perovskites Towards Enhanced Photophysical Properties.

Aakash Singh,^a Santosh K. Gupta,^b Sai Santosh Kumar Raavi,^{a,*}

^a Ultrafast Photophysics and Photonics Laboratory, Department of Physics, Indian Institute of Technology Hyderabad, Kandi 502285, Telangana, India

^c Radiochemistry Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai 400085, India; Homi Bhabha National Institute, Mumbai 400094, India;

*Corresponding author's e-mail address: sskraavi@phy.iith.ac.in

Transition metal doping in halide double perovskite ($\text{Cs}_2\text{AgInCl}_6$) has emerged as an attractive approach to tailor their optoelectronic properties by defect engineering. In this work, we comprehensively explore the impact of Cu^{2+} and Mn^{2+} doping in $\text{Cs}_2\text{AgInCl}_6$ through both experimental techniques and first-principles calculations. Cu^{2+} doping, shown by DFT to preferentially substitute at the Ag^+ site, Cu^{2+} doping introduces shallow impurity states near the valence band maximum (VBM), leading to enhanced visible-light absorption. Positron annihilation lifetime spectroscopy (PALS) indicates the formation of anion vacancies. Additionally, variable-temperature PL measurements fit well to an Arrhenius model and a strong electron-phonon coupling, suggesting efficient thermal activation pathways. Mn^{2+} doping also prefers Ag^+ substitution, as confirmed by PALS and DFT, resulting in negative thermal quenching behavior due to efficient energy transfer from self-trapped excitons (STEs) to Mn^{2+} ions. This behavior is accurately described using a two-term Arrhenius model. These findings collectively highlight the role of transition metal doping and defect engineering in modulating the electronic structure and emission properties of halide double perovskites, opening avenues for multifunctional applications in optoelectronics.

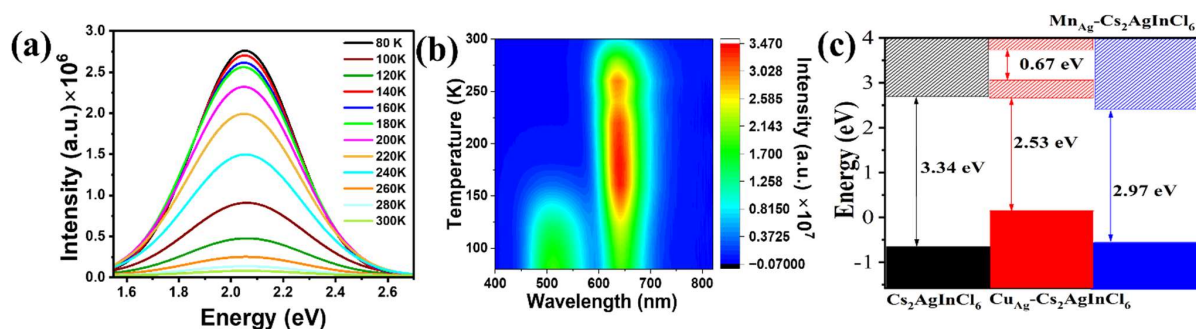


Figure: (a, b) Variable temperature PL of Cu^{2+} and Mn^{2+} doped $\text{Cs}_2\text{AgInCl}_6$. (c) DFT calculated band alignment of Cu^{2+} and Mn^{2+} doped $\text{Cs}_2\text{AgInCl}_6$.

Acknowledgement:

RSSK and AS acknowledges DAE-BRNS (58/14/06/2023-BRNS/37030) for funding support.

撃力により駆動する粉体ジェットの動的特性：粒径依存性に関する検討

Dynamics of Impact-Driven Granular Jets: Effects of Particle Size

日本工業大学¹, 名古屋工業大学², 東京都立大学³

○(B)小玉 凜空¹, 神保 孔明¹, 武藤 真和², 栗田 玲³, 小林 和也¹

Nippon Inst. Tech.¹, Nagoya Inst. Tech.², Tokyo Metro. Univ.³

○Riku Kodama¹, Koumei Jinbo¹, Masakazu Muto², Rei Kurita³, Kazuya U. Kobayashi¹

E-mail: kobayashi.kazuya@nit.ac.jp

粉体は自然現象に留まらず、我々が日常的に利用する医薬品、食品、化粧品、電子材料など、多くの製品の製造過程においても重要な役割を果たしており、その物理的性質や挙動の理解は重要である⁽¹⁾。特に粉体の輸送過程においては流動挙動および制御は重要であり、例えば、微細化した粉体は重力に比べて粒子間の付着力の影響が大きくなるため流動性が悪化することなどが知られている。これらの付着性によって例えばホッパーなどの閉塞といった問題を生じることが知られている。そこで、様々な粒径の粉体に適用可能であり、粉体を目的箇所に効率的に輸送できる技術を確立することができれば、粉体に関係する様々な工業技術への応用・発展に寄与することができると考えられる。近年、我々は衝撃力を用いたジェット射出による輸送手法について検討を行っている⁽²⁾。しかしながら、ジェット生成条件や動的挙動に関する知見はまだ限定的である。そこで本発表ではさまざまな粒径の粉体によるジェット生成時における動的挙動および粉体層の流動特性について検討した結果について報告する。

実験ではガラス製の試験管（管径 30 mm）を用いることで内部の粉体の挙動を高速度カメラによって詳細に観察できるようにした。粉体を試験管底部から 25 mm の位置まで注入する。この際、粉粒体の初期充填率が変わらないように、あらかじめ試験管を複数回タッピングしながら粉粒体の高さを調整している。本研究ではジェット生成に伴う粒径依存性を調査するために、単純化した粉体を仮定して複数の球形ガラスビーズを用意した。平均粒径は 45 μm ~ 605 μm の範囲で合計 12 種類を対象とした。粉体表面にはあらかじめ複数の半球形状を付与している。金属フックを取り付けたシリコンキャップで試験管を密閉し、電磁石を用いて試験管全体を吊り下げ静止させる。その後、電磁石を切ることによって試験管を自由落下させて、金属製の床材に衝突させることで撃力を付与する。試験管の落下高さは 10 mm–110 mm の範囲で調査を行った。ジェットの様子は高速度カメラ (FASTCAM SA5, Photron Co.) により、撮影速度 30,000 fps の条件で撮影を行った。

実験の結果、粒径が異なる場合においてもジェットが生成することが明らかになった。一方で、ジェット形状や速度などにおいて、異なる特徴が見られることがわかった。当日の発表ではこれらの内容について詳細を報告する。

(1) C. S. Campbell, *Powder Technol.*, **162**, 3 (2006).

(2) K. U. Kobayashi, Y. Sato *et al.*, *Jpn. J. Multiph. Flow*, **38**, 3 (2024),

付着性の異なる粉体の撃力射出およびジェット特性

Impact-Induced Granular Ejection and Jet Dynamics: Effects of Granular Adhesion

日本工業大学¹, 名古屋工業大学², 東京都立大学³

○(B)奈良 圭司朗¹, 武藤 真和², 栗田 玲³, 小林 和也¹

Nippon Inst. Tech.¹, Nagoya Inst. Tech.², Tokyo Metro. Univ.³

°Keijiro Nara¹, Masakazu Muto², Rei Kurita³, Kazuya U. Kobayashi¹

E-mail: kobayasi.kazuya@nit.ac.jp

粉体は工業的重要性だけでなく、例えば粉塵爆発といった災害にも関連しており、これまでに様々な研究が盛んに行われている。特に、粉体は粒子間の摩擦、サイズ分散など、様々なパラメータが密接に絡み合うことが知られており、流動時には複雑な挙動を示すことも多い。例えば粒子間の付着力の影響が大きくなる場合には流動性も悪化することから、粉体の輸送過程では流動挙動やその制御は重要であり、付着性の異なる粉体に対して汎用的に適用可能な手法を検討する必要がある。最近、筆者らは撃力を用いることによって粉体を先細形状のジェットとして射出する手法を開発し、その動的特性について詳細な調査を進めている⁽¹⁾。一方で、従来の手法では粉体を注入した容器全体を自由落下させ、床材と衝突させることによって撃力を付与していることから、装置が大型になることや生成されるジェットの再現性などに課題が存在していた。そこで、本研究では撃力付与方法を変更し、容器底面を打撃することによるジェット生成手法について検討し、付着性の異なる粉体を用いて生成したジェットの動的挙動について詳細に調査を行った。

Fig.1 に装置の概略図を示す。実験ではガラス製の試験管 (Φ16.5 mm) に平均粒径 58 μm の球形ガラスビーズを試験管底面から 25 mm の位置まで充填する。試験管を支柱に固定した状

態で、底面から打撃装置を用いて撃力を与えることによって、粉体表面から生成されたジェットを高速カメラ (FASTCAM SA5, Photron Co.) を用いて観測する。なお、打撃装置はコンプレッサーと接続しており、操作レバーによって空気圧を 0.05~0.3 MPa の範囲で変化させる。

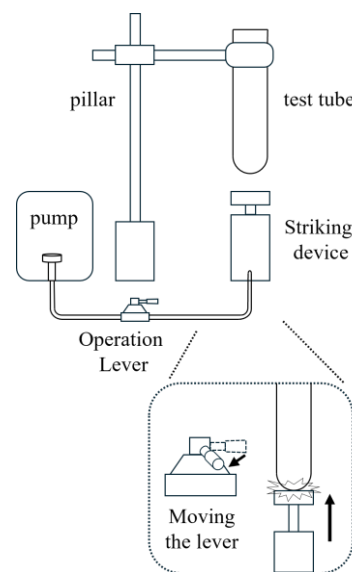


Fig.1 Schematic of our experimental setup.

実験の結果、付着性が異なる粉体においても、これまでに報告されている先細形状ジェットが生成することが明らかになった。また、空気圧の変化によりジェット速度等にも明確な変化が観察された。当日の発表では、これらの実験結果を中心に、粉体ジェットの特徴について報告を予定している。

(1) K. U. Kobayashi, Y. Sato, *et al.*, *Jpn. J. Multiph. Flow*, **38**, 3 (2024).

レーザー照射による局所相変化を利用したヤヌス粒子ダイナミクス

Controlling Janus Particle Dynamics Using Local Phase Change Induced by Laser Irradiation

慶應大院理工¹, 産総研 SFRC²

○高野 広太郎¹, 牧野 孝太郎², 畑山 祥吾², 斎木 敏治¹

¹Kotaro Takano, ²Kotaro Makino, ²Shogo Hatayama and ¹Toshiharu Saiki (¹Graduate School of Science and Technology, Keio University, ²SFRC, AIST)

E-mail: tknkr1424zih@keio.jp

1. はじめに

生物の細胞や微生物など、エネルギーを取り込みながら自律的運動をし、非平衡状態を維持する要素の集まりをアクティブマターと呼ぶ。このアクティブマターの特徴の1つとして、単体では無秩序な運動を行う一方で群れになると個々の相互作用により「自己組織化」された集団運動を示すという点がある。この自己組織化に関する研究においては、集団における数密度の不均一性が個々の運動のパターンを決定するということが知られている。しかし、速度および軌道の不均一性での実証はされていないため、本研究では表面に2つの異なる物性をもつ粒子(ヤヌス粒子)の自己推進特性を利用した実証を目指す。そこで本研究では、金属的・非金属的性質の2つの異なる相状態を遷移することが可能な相変化材料 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST)、および金(Au)を用いたヤヌス粒子を提案する。

2. 実験手法

粒子表面半分が厚さ 50 nm の GST、および金で被膜された2種類の 10 μm ポリスチレンビーズ(以下、前者を GST ヤヌス粒子、後者を金ヤヌス粒子と呼ぶ)を用意し、純水中で 1kHz、14 Vpp の交流電圧を印可下で誘導電荷電気浸透流を発生させ、これを自己推進力源として利用した。その後、自走しているそれぞれのヤヌス粒子に対してパルスレーザーを照射し、レーザー照射前後の推進速度と推進軌道の調査を行った。

3. 結果および考察

GST ヤヌス粒子については、図1に示すような推進速度の変化が確認された。レーザー照射前の推進速度は約 10.8 $\mu\text{m/s}$ に対し、照射後の推進速度は約 23.6 $\mu\text{m/s}$ となり約 2.2 倍の速度増加が確認された。この結果は、GST 面の結晶化によってヤヌス粒子表面における分極率の偏りが増加し、浸透流の大きさも増加したことを示している。

次に、金ヤヌス粒子については図2のような推進軌道が見られた。理論上ヤヌス粒子は直進的に推進を行うが、渦巻軌道や蛇行軌道、8の字軌道といった特異的な挙動を行う金ヤヌス粒子が確認されている。この結果は、レーザー照射により金面の一部がアブレーションによって剥離したことでヤヌス粒子に非対称性がもたらされたことを示している。

4. おわりに

本研究によりヤヌス粒子ダイナミクスのより高度な制御が期待される。今後は GST の結晶化および金アブレーションの精度を向上させることで、単一の粒子ではなく集団の粒子としての運動パターンの観察を目指す。

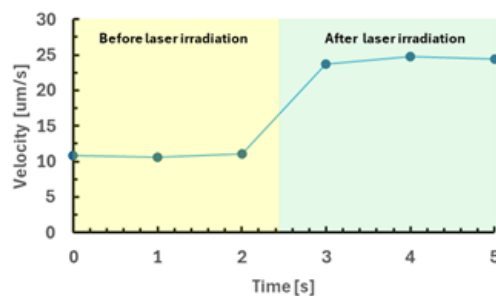


Figure1. The velocity of GST-Ps Janus particle before and after pulsed laser irradiation

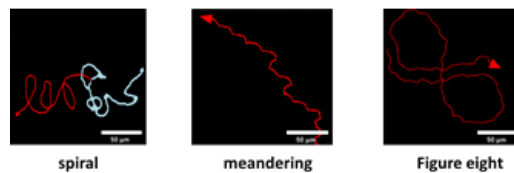


Figure2. The trajectory of Au-Ps Janus particle after laser ablation.

有機ナノ薄膜のせん断現象に関する定量的評価の検討 -パーシステントホモロジーの導入-

Investigation of Quantitative Evaluation of Shear Phenomena in Organic Nano Thin Films: Introduction of Persistent Homology

富山高専¹, [○](B)石崎 史真¹, 多田 和広¹

NIT, Toyama College¹, [○]Shima Ishisaki¹, Kazuhiro Tada¹

E-mail: tada@nc-toyama.ac.jp

1. 序言

近年, 安価なナノスケールの微細加工として, 金型をプレスし微細な構造を転写するナノインプリントが注目されている. しかし, ナノスケールの膜厚でのアライメントが困難である等の課題があり, ナノスケールにおけるせん断現象について深く理解することが重要である. また, 物質の構造を定量的に評価する手法として, パーシステントホモロジーという数学的解析手法が有効であることが知られており, ナノスケールにおける摩擦現象とパーシステントホモロジーを紐づけることで新たな知見が得られる可能性がある.

本研究では, 分子動力学法によるナノスケールでのせん断現象解析に, 座標データの穴構造を定量的に評価できるパーシステントホモロジーを導入し, せん断現象における構造の形状の影響について, 定量的な評価を行うことを目的とする.

2. 計算条件

本研究では, せん断特性モデルとして, 2 枚のシリコン基板でポリマーを挟み, 下側基板下部を固定し, 上側基板上部に基板面に垂直な方向に一定の圧力を, 水平な方向に一定の速度を与え, せん断を与えた時に上側基板がポリマーから受けたせん断応力を算出した. 有機材料として使用するポリマーとしては, ポリメタクリル酸メチル(PMMA)を選択した.

また, 原子座標のデータか, 空隙の状態を評価するために, パーシステント図と呼ばれる穴構造の発生と消滅の状態を 2 次元の分布として表した図を用いた. パーシステント図より得られた空隙の特徴とせん断応力を比較し, その関係性を考察した.

3. 結果

押し付け圧力を変化させた際のポリマー内部及びポリマーと基板の界面付近のパーシステント図の変化を Fig.1 に示す. Fig.1において, 点線で囲まれた点群は基板-ポリマー界面付近の穴構造を示しており, 押し付け圧力が小さい時の方が多くの穴構造が存在することが確認された.

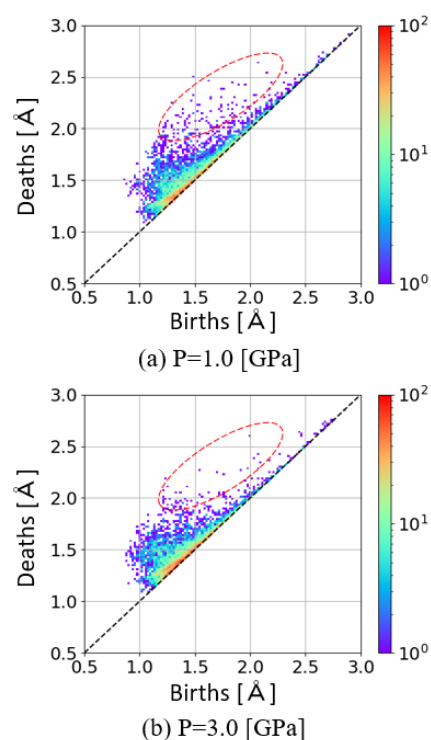


Fig.1 Change in persistent diagram due to change in pressing pressure.

福井高専における定量性に着目した放射線教育の試み

Education trial on radiation for quantitative understanding in NIT, Fukui

福井工業高等専門学校¹, [○]長谷川 智晴¹, 土田 怜¹

National Institute of Technology (KOSEN), Fukui College¹, [○]Tomoharu Hasegawa¹, Satoshi Tsuchida¹

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

近年、学校教育における放射線教育の重要性は広く認識されており、科学的知見に基づく定量的な放射線教育の充実が期待されている[1]。福井高専では本科2年生（高校2年生に相当）物理授業の一環として、放射線に関する科学リテラシーの向上を目的とした授業を実施している。この授業では、授業前後に理解度の変化を評価するためアンケート調査を実施し、授業を経て学生の考え方が変化することを見出してきた。高専は技術者養成を使命とする教育機関であって、放射線教育において定量評価の基準となる数値や単位についての理解は重要である。本報告では、令和6年度に福井高専で行った放射線教育において、とくに数値や単位の理解に着目した検討を行った結果について示す。

図1は授業前に行った「鯖江市の環境放射線の値はどの程度か」という質問に対する学生の回答である。学生の回答は0.1 $\mu\text{Sv/h}$ から1 mSv/hまで広く分布しており、授業前にほとんどの学生は放射線について数字のイメージを持っていないことが推測される。図2は福井高専敷地内におけるシンチレーション検出器を用いた学生自身による環境放射線の測定結果である。平均の測定値0.08 $\mu\text{Sv/h}$ は鯖江市で観測される値に近く、測定が正しく行われたことがわかる。測定を通じて放射線の定量的理解が促進されたものと考えられる。

授業前後のアンケートにおける自由記述欄のテキストの比較分析によると、授業前に学生が持つイメージはネガティブな傾向を示し、放射線に関する知識は原子力災害など社会的事象に偏っていることが示唆された。一方、授業後のイメージはポジティブ傾向へ変化し、新たに、役立てる、考える、測る、などの単語が出現した。本検討で見られたように、学習や測定を通して数値や単位を理解することが、学生の放射線に関するリテラシー向上に有効であると考えられる。

【参考文献】

[1] 「学校での放射線リスク教育ガイドブック」千葉大学教育学部基礎医学編（平成29年）。

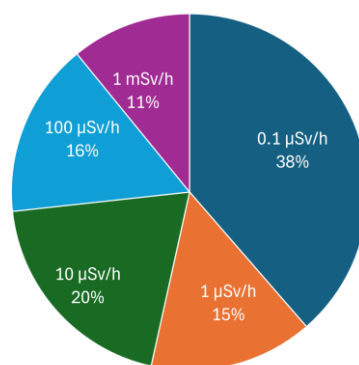


図1 授業前の環境放射線の値のアンケート結果。

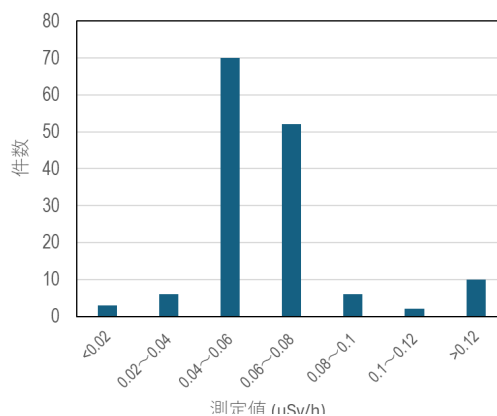


図2 環境放射線測定結果。

フルカラーLEDを使ったマイコンプログラミング教材の開発

Development of learning materials for microcontroller programming using full-color LEDs

徳山高専 ○大中若菜, 藤本竜也, 柳澤秀明, 浦上美佐子, 室谷英彰

NIT, Tokuyama Coll., ○W. Ohnaka, T. Fujimoto, H. Yanagisawa, M. Urakami, H. Murotani

E-mail: i19oonaka@tokuyama.kosen-ac.jp

小学校におけるプログラミング教育の必修化により、小中学生がプログラミングに触れる機会は飛躍的に増加している。早期のプログラミング教育では、テキストコードを用いないビジュアルプログラミング言語が広く利用されている。ビジュアルプログラミングには、直感的に操作できるという利点がある一方で、テキストベースのプログラミング言語との仕様の違いから、実践的なテキストプログラミングへの移行に際しては一定の障壁が存在する。本研究では、小中学生にも理解しやすい命令セットで構成されたプログラミング環境と、フルカラーLEDを搭載したマイコンボードを用いたプログラミング教材を開発したので、その内容を報告する。

開発したプログラミング環境はC言語をベースとしており、LEDの点灯制御やスイッチの状態検出などの複雑な処理を、マクロ機能を用いて抽象化・簡略化している。これにより、学習者はハードウェアの詳細にとらわれることなく、直感的かつ簡潔なコードでLEDの点灯制御を実現できるように設計されている。ハードウェアは、Arduino Unoに接続して使用するLEDシールド型(図1)と、1枚の基板で完結するマイコンボード型(図2)の2種類を開発した。いずれも、フルカラーLED(3個)、ボリューム(3個)、プッシュボタンスイッチ(3個)を搭載している。

本教材は、小学校高学年から中学生を対象とした公開講座や科学教室等で使用した。講座では、基本的なLED点灯制御から始まり、繰り返し処理を用いた「色相環プログラム」や「信号機プログラム」などに組み合わせた。LEDの色変化や点滅といった視覚的反応が直感的理解を促し、光の物理現象とプログラム構造の関係性を効果的に学ばせることができた。本教材は、物理現象と論理的思考の双方を導入する上で有効な構成となっており、学習意欲の喚起にも寄与することが示された。

本研究の一部は、マツダ財団の事業助成および科学研究費補助金(25H00150)の支援を受けて実施された。



Fig. 1. Photograph of the developed full-color LED shield.

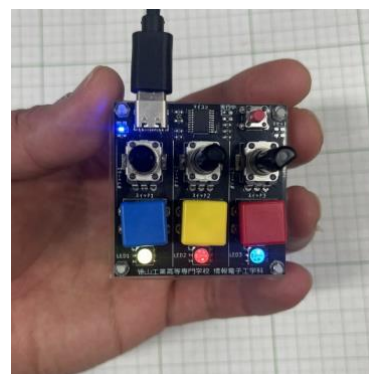


Fig. 2. Photograph of the developed full-color LED microcontroller board.

太陽光追尾型 LED 発電の蓄電による照明への応用

An Application for Illumination Based on the Storage of Electricity as to Power Generation Using the LED with the Solar Tracking System

九州共立大学 名誉教授

〇山口 静夫

Kyushu Kyoritsu University

〇Shizuo Yamaguchi

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

1. はじめに

前回、昼間 LED 発電した電力を EDLC に蓄電し、夜間時にその LED を発光させて 90 分程度点灯できた。

今回は、前回の固定型 LED 発電に対して、経度(横)方向に対応した太陽光追尾型 LED 発電を行った。

その結果、蓄電した電荷が固定型に比べて 1.7 倍となり、LED の点灯時間がより改善されたので報告する。

2. 太陽光追尾型 LED 発電による蓄電の概要

2-1) 太陽光追尾型 LED 発電装置の外観と動作

Fig.1 に、使用した太陽光追尾型 LED 発電装置の外観を示す。図から①傾斜した固定板の上に②仕切り板の左側に 1V、0.25A の③太陽電池-L および右側に④太陽電池-R を取り付けている。さらに①固定板の下側に円形状に並列接続した 60 個の⑤赤色 LED を配置している。

追尾装置の動作は、中央に設けた②仕切り板の③左側と④右側の太陽電池に太陽光が等しく照射し、両側の太陽電池に②仕切り板の影ができないように制御して a~a' および b~b' の横方向に回転させている。

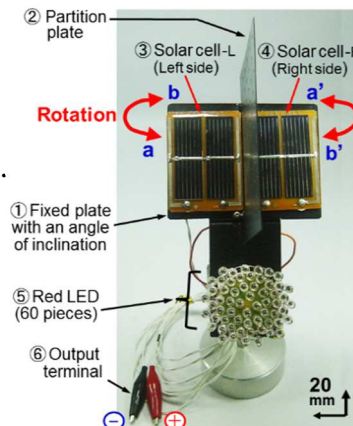


Fig.1 External appearance of the Solar Tracking System using horizontal single axis tracker

2-2) 追尾型と固定型の LED 発電による蓄電特性

Fig.2 に追尾型と固定型の LED 発電による 11 月の 8:00 ~ 16:00 の蓄電特性の一例を示す。なお LED は、ほぼ南向きに配置している。ここで追尾型の蓄電回路の EDLC は $C=30F$ 、同様に固定型では $C=20F$ としている。図から追尾型の発電電流 I_{G1} は、固定型の発電電流 I_{G2} に比

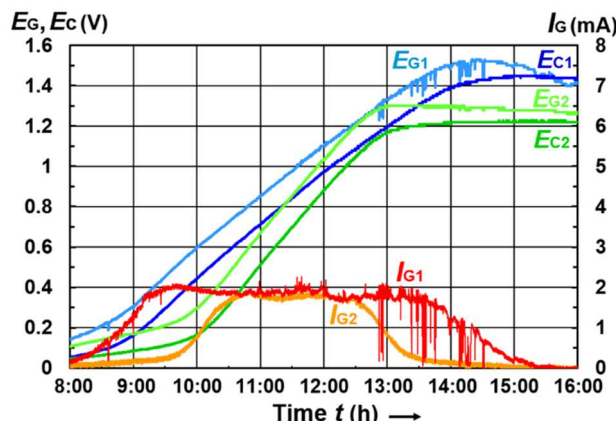


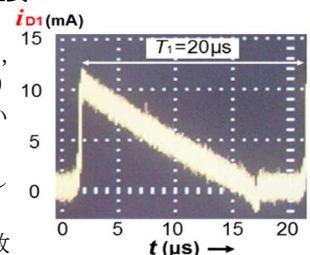
Fig.2 Characteristics of the storage of electricity based on the generation of electricity by LED with Tracking type and Static type

べて、時刻が 9:00 および 14:00 頃にその値が大幅に改善されている。ここで 16:00 の時点で EDLC の蓄電電圧は、追尾型で $Ec1=1.43V$ 、固定型で $Ec2=1.23V$ となっている。これにより追尾型の EDLC が蓄えた電荷 $Q1$ は、 $Q1=43C$ となり固定型に比べて 1.7 倍程度となった。

3. 蓄電による LED 照明の概要

3-1) LED 照明の動作波形

15 個の赤色 LED の点灯は、ブロッキング発振回路により昇圧してパルス動作させている。Fig.3 に追尾型の点灯直後にオシロスコープで測定した LED 動作電流波形を示す。図から $i_{D1}=10mA$ p-p で周波数は $f_i=1/T_i=50kHz$ 程度となり、Fig.3 Operational current waveform of the LED lighting circuit 通電時間は $15\mu s$ となった。



3-2) LED 照明の点灯特性と LED の明るさ

Fig.4 に、LED 点灯特性を示す。ここで $Ec1$ 、 $Ec2$ は追尾型と固定型の EDLC の蓄電電圧、 I_{B1} 、 I_{B2} は追尾型と固定型のブロッキング発振回路に流れる電流となっている。図から $t=0$ の $Ec1=1.43V$ ($I_{B1}=9.1mA$)、 $Ec2=1.23V$ ($I_{B2}=7mA$) から LED の点灯がスタートし、時間の経過とともに Ec 、 I_B などが低下している。

Fig.5 に、60 分

of 15 pieces with Tracking type and Static type 間隔における LED の点灯状況を示す。図から、点灯がスタートして (b) 60 分で $Ec1=0.79V$ 、 $I_{B1}=2.8mA$ となりある程度明るい。(c) 120 分で $Ec1=0.54V$ 、 $I_{B1}=1.2mA$ となり、(e) 240 分の $Ec1=0.38V$ 、 $I_{B1}=0.4mA$ では消える直前となっている。LED の消灯時間は、視覚により Fig.4 の中に示す $t_{1(OFF)}=260$ 分であった。その結果、追尾型 LED 発電により固定型の消灯時間 $t_{2(OFF)}=155$ 分に比べて点灯時間が延長化できた。従って夜間時の照明として直接発光できるので、短時間とはいえ有効と思われる。

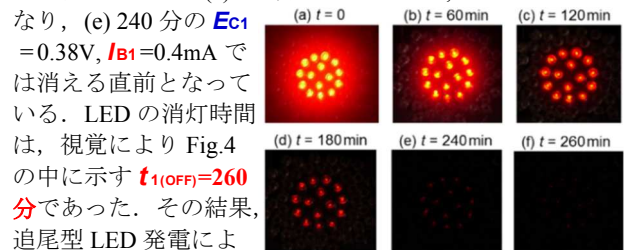


Fig.5 Brightness of the LED lighting with Tracking type based on discharging time

人工現実感と複合現実感を組み合わせた教育システム -造形的な創造活動への応用-

Educational Tool Combining Virtual Reality and Mixed Reality

-Application for Artistic Creation-

北見工大, °(M1)山崎 楽斗, 平塚 心太郎, 田中 宇宙, 酒井 大輔

Kitami Inst. of Tech., °Rakuto Yamazaki, Shintaro Hiratsuka, Sora Tanaka, Daisuke Sakai

E-mail: m3255300261@std.kitami-it.ac.jp

1. はじめに

文部科学省が平成 29 年に告示した小学校学習指導要領では、図画工作科の学習が造形的な創造活動を目指していることが示され、造形遊びを通じた創造的技能の育成が強調されている。しかし、材料や場所などに制約があり、実施が難しいという課題がある。我々の研究室では、児童や生徒が仮想のオブジェクトを操作し、その反応を体感することで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物理的な制約にとらわれない制作活動の実現を目指す。

2. 実験と結果

本システムは、MR 空間上でオブジェクトを操作する制作用シーンと、MR 空間上で制作した世界を VR 空間上で体験できるシーンからなる。ヘッドマウントディスプレイ (HMD : Head Mounted Display) を装着した生徒は、Fig. 1 のように MR 空間上で家具やブロックを移動する、筆で色を変更するなどの操作を行うことで家を制作することができる。また、Fig. 2 のように制作した家に入り、ドアを開ける、小物を持つなどの設置したオブジェクトとの相互作用を伴う体験が可能である。このシステムにより、試行錯誤を繰り返しながら制作活動を行えることが確認できた。

3. まとめ

VR と MR を組み合わせ、材料や場所の制約にとらわれずに造形的な創造活動を行うことを可能とするソフトウェアを開発することができた。本発表では、この教材を実際に児童に体験していただき、得られた感想や、実際の作品も含めて報告する予定である。



Fig. 1 MR 空間上で家を作成する様子



Fig. 2 VR 空間上で制作した家に入るイメージ図

人工蜃気楼教材の食用化に関する研究

Research on the edible use of artificial mirages

北見工業大学¹ ○(M2) 三輪 環¹, (M2) 菅原 健司¹, 原田 建治¹

Kitami Institute of Technology¹

○Tamaki Miwa¹, Kenji Sugawara¹ and Kenji Harada¹

E-mail: m3245300294@std.kitami-it.ac.jp

はじめに

蜃気楼を人工的に再現するために、布団乾燥機を用いたものや、砂糖水・塩水を用いた教材などが報告されている。2025年3月に開催された第72回応用物理学会春季学術講演会にて、砂糖水とゼラチンを用いることで人工蜃気楼をゼリー状に固定化した可搬型の教材について報告した。本研究では、この可搬型の教材が食べられる素材で作製されていることに着目し、美味しく食べられる人工蜃気楼ゼリーを作製することを目的とする。また、誰でも簡単に作製できるようにするため、市販の即席デザート商品を使用した人工蜃気楼ゼリーについても報告する。

適切な砂糖濃度および屈折率評価

まず、本研究で使用する砂糖水の屈折率測定を行った。濃度が増加するごとに比例して、屈折率が増加した。Figure. 1に砂糖濃度と屈折率の関係について示す。通常、人工蜃気楼を作製するのに使用される砂糖水の濃度は30%から50%程度である。しかし、甘すぎて食用には適さないため、一般的な甘味と同程度である10%から20%程度の砂糖濃度でゼリーを作製する。また、人工蜃気楼教材と同様に作製すると、上の層が無味になってしまうため、上下の層の屈折率差を小さくし、上下の層に味を付けて作製する。

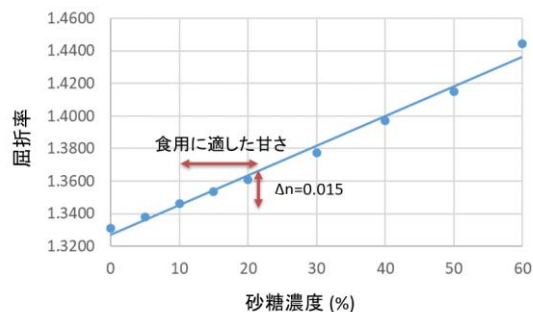


Fig. 1 Relationship between sugar water and refractive index

蜃気楼ゼリーの試作

試作した人工蜃気楼ゼリーを通して、1m先に置いた画像を観察した様子を Figure. 2に示す。画像のサイズは、横18cm、縦12cmである。上下の層の屈折率差をおよそ0.01で作製した。屈折率差が0.01程度あれば、ゼリーを通して遠くの景色を観察するのに十分であることが分かった。



(a) Image of the building



(b) Image of the building observed through mirage jelly

Fig. 2 Image observed through mirage jelly

屈斜路湖で観察されるジュエリーバブルを模した偏光色教材の作製

Fabrication of polarization color teaching materials that mimic jewelry bubbles

observed in Lake Kussharo

北見工業大学¹ ○(M1)山田 怜矢¹, (M1)柳原 陵我¹, (M2)岡村 岳音¹, 原田 建治¹

Kitami Institute of Technology¹

°Reiya Yamada¹, Ryoga Yanagihara¹, Gakuto Okamura¹ and Kenji Harada¹

E-mail: m3255300273@std.kitami-it.ac.jp

はじめに

厳冬期の北海道屈斜路湖にて、偏光フィルタを通して湖面の薄氷を撮影すると、薄氷下にある小さな泡が様々な色に見える現象が発見された。この現象は、偏光フィルタを通してのみ観察されることから、偏光色によるものと考えられる。本現象は、撮影者により『ジュエリーバブル』と命名された。ジュエリーバブルの一例を Fig.1 に示す。本研究では、冬季に限られた環境でしか観測できないこの現象を、室内でシーズンを問わず観測できるようにすることを目的として、3D プリンターを用いた模型の作製および教材利用を検討した。

ジュエリーバブルの原理

ジュエリーバブルの着色現象は、偏光色によって生じる。偏光色とは、複屈折性のある材料を2枚の偏光板で挟み白色光を入射することで観察される着色現象である。ジュエリーバブルは、偏光板1枚のみで観察することができる。これは、複屈折性を有する氷の下層部の空気で光線が反射する際の反射率に大きな偏光依存性を有し、偏光板に近い役割を果たすためである。

模型の作製

3D プリンターを用いて作製したジュエリーバブルの模型を Fig.2 に示す。湖面の再現には光沢のあるLK カラー紙を使用した。またジュエリーバブルを再現するために、円形に切り抜いたポリプロピレンフィルムを、カラー紙上に配置した。偏光板を通して撮影すると実際のジュエリーバブルのようにポリプロピレンフィルムが着色した。自然界で起こるレアな光学現象をいつでも室内で観察できるため、本教材が偏光色や理科に興味を持つきっかけとなることが期待される。



Fig. 1 Observed jewelry bubble



Fig.2 Image of the model created

複屈折および磁場誘起二色性によるレーザ透過光強度の偏光依存性

Polarization dependence of laser transmission intensity due to birefringence and magnetically induced dichroism

新居浜高専

○村上 幸太郎, 松本 透弥, 松友 真哉, 福田 京也

National Institute of Technology, Niihama College

○Kotaro Murakami, Toya Matsumoto, Shinya Matsutomo, Kyoya Fukuda

E-mail: k.fukuda@niihama-nct.ac.jp

[はじめに]

現在、産学における量子人材の育成・確保が課題となっており、特に若年層が量子技術に触れ、学ぶ機会の充実が求められている^[1]。人材育成の具体策としては、高専生や大学生を対象とした標準カリキュラムの策定に加え、小中高生が量子技術に親しむための教育環境の整備が提言されている。我々は、量子技術に不可欠なレーザ光源を用いた実習とオンデマンド授業を組み合わせた電子工学の授業をカリキュラムに導入し、原子スペクトルの観測に必要な機器操作や関連知識の効率的な習得に有効であることを確認した^[2]。今回、方解石の複屈折性および原子蒸気セルにおける磁場誘起二色性に関する光学実験を通じて、光の偏光制御や原子スペクトルの形状変化の観測といった量子技術の基礎現象を、視覚的かつ体験的に学修できる教材の開発が可能と考えた。

[実験手法・結果]

まず、入手容易な方解石^[3]に 2 台のレーザ光源からの光を照射した。図 1 に実験概略と結果を示す。光源には互いに偏光が垂直で光軸を同軸上に重ねた近赤外半導体レーザを用いた。垂直入射を保ちつつ方解石を回転させたときの透過光スポットの位置変化を赤外線カメラモジュールによって観測した。偏光子の角度により、スポット位置と光強度の変化を確認でき、複屈折性を視覚的に示すことができた。

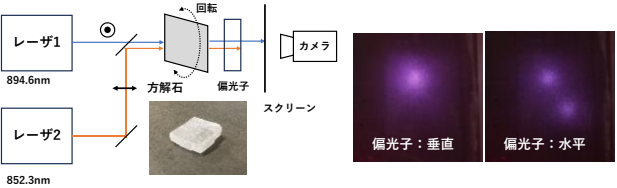


図 1 方解石における複屈折性の観測

次に、原子スペクトルの偏光依存性を観測するため、セシウム原子 (Cs) 原子を用いた。図 2(a)に実験概略を示す。Cs 原子 D₁ 吸収波長 (894.6nm) に同

調したレーザ 1 の光を $\lambda/4$ 板によって円偏光にし、2 つのリング型フェライト磁石 (170Gauss) で挟まれた Cs 原子に照射、透過光スペクトルを観測した。磁場によって σ^+ 光と σ^- 光の透過光強度が変化し、原子の二色性によりスペクトルが周波数シフトする^[4]。図 2(b)のように、約 100MHz の周波数シフトが観測でき、磁場印加方向を逆にするとシフト方向も変化することが確認できた。しかしながら、ドップラー効果によるスペクトル広がりのため、二つの偏光によるスペクトル形状変化は顕著ではない。そこで、Cs 原子 D₂ 吸収波長 (852.3nm) に同調したレーザ 2 の光を、レーザ 1 の光と同軸上に重ね、原子セルを透過した 2 つのレーザ光を回折格子により分離し、光検出器で観測した。図 2(c)に示すように、レーザ 2 の光ポンピング効果によって偏光の違いによる顕著なスペクトル変化を観測することができた。

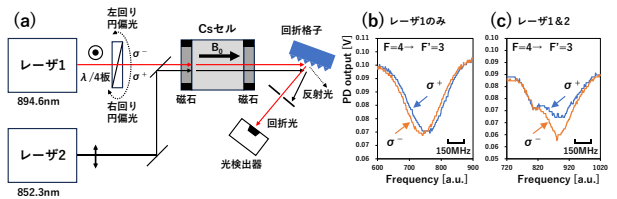


図 2 実験概略と観測結果

今回の提案手法により、中高生などの初学者に対し、鉱物や原子の偏光現象に対する興味喚起や量子技術の基礎現象に触れる機会を提供できると考える。参考文献

[1] 内閣府, 量子産業創出・発展に向けた推進方策 (量子技術イノベーション会議報告(2024.4)).
[2] 福田京也 他, 応用物理教育, 48 巻 2 号, pp.49-54, (2024).
[3] Gakken, 学研の科学 ときめく実験鉱物と岩石標本, ISBN978-4-05-750884-9, (2024).
[4] K.L.Corwin, et.al., Appl. Opt. 37, 3295-3298 (1998)

フラクタルを学習するための教材の構築

Preparation of Learning Resources for Fractals

金沢工大基礎教育部 [○]根間 裕史

Kanazawa Inst. Tech. [○]Hirofumi Nema

E-mail: h-nema@neptune.kanazawa-it.ac.jp

フラクタルは、血管などの生体内構造、多孔質材料中の微細孔、材料表面の粗さやひび割れなど、応用物理に関連するさまざまな現象に現れる興味深い概念である。自己相似性やスケーリングといった数学的特徴を持ち、これらの現象の理解に有用であると考えられる。しかし、大学の学部の授業でフラクタルが扱われる機会は必ずしも多くなく、実験や視覚的体験を通じてその特徴を実感する機会も限られている。そのため、初学者にとっては学習のきっかけをつかみにくいことが課題となるかもしれない。

本発表では、こうした課題の緩和を狙ったフラクタル教材構築の取り組みを紹介する。構築にあたっては、二つの先行事例に着目した。一つは、下川ら[1, 2]による、牛乳にコーヒー液滴を滴下することでフラクタルパターンを形成させる実験である。もう一つは、フラクタル物理の教科書[3]に記載されている、平行な二枚の平板間（ギャップは狭い）にオイルを挟みこみ、空気を注入して粘性突起（ヴィスカス・フィンガリング）を作る実験である。いずれも身近な素材を用い、視覚的に明確なフラクタル構造を観察できる簡易実験として魅力がある。発表では、これらの事例を参考にした教材の試作とその進捗について報告する。

[1] 下川倫子, 混相流 34 巻 3 号, 411 頁, 2020 年.

[2] M. Shimokawa and T. Takami, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 044001 (2014).

[3] 松下貢, フラクタルの物理(II)応用編, 裳華房, 2004 年.

匂いセンサと人感センサを組み合わせた IoT 型見守り教材の開発

Development of IoT teaching materials combining odor and human detection sensors

公立諏訪東京理科大工 °平谷 雄二

Suwa University of Science, °Yuji HIRATANI

E-mail: hiratani@rs.sus.ac.jp

概要 社会の高齢化が進むなか、見守りシステムへの関心は高まるばかりである。見守りの手法の一つに匂いセンサを用いたものがある。センサの入手が容易なことから教材としても魅力的である。しかし、匂いセンサ単体では出力の意味づけが容易でないことはよく知られている。（理由：・複数のガスに反応する。・気温や湿度、対象との距離で出力が変動する。等）。そこで、匂いセンサに人感センサ、IoT データ可視化サービスを組み合わせることで、対象の行動パターンを遠隔で解釈することを試みた。その結果、・就寝、食事、排泄、外出を直感的に把握できること、・対象に関係しない情報を判別でき、見守りシステム検討の教材としての可能性が明らかになった。

実験 健康な高齢者を実験対象とし、被検者は著者とした。図1に実験環境を示す。主な生活空間である机に人感センサと匂いセンサを、排泄の場所に匂いセンサを設置した。採取したデータは無線マイコンでクラウドに送信し、IoT データ可視化サービス ambient でどこからでも見られるようにした。（型番 匂いセンサ：TGS8100、人感センサ：RCWL-0516、無線マイコン：ESP32）

図2にセンサデータの時間推移を示す。どちらの匂いセンサもトイレや食事の匂いを感知するが、対象と近いセンサほど強く、高速な応答が得られた。被験者が不在の場合（例 10～18 時間）、机の匂いセンサで出力の変動がみられたが、人感センサが不感知なことから、変動は被検者には関係ないことが分かった。センサの出力を用いれば、パターン認識の教材としても使えそうである。

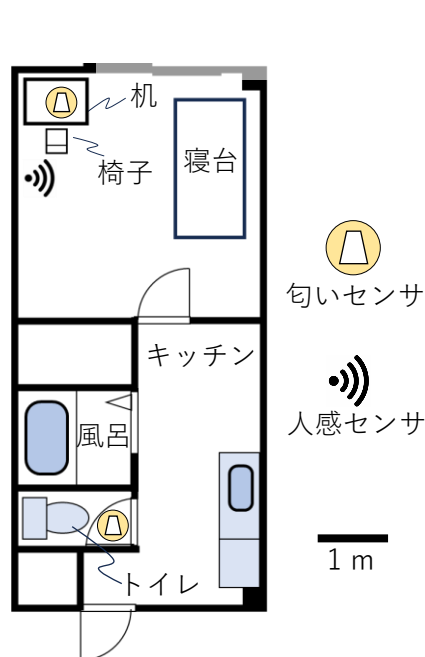


Fig. 1 Experimental environment

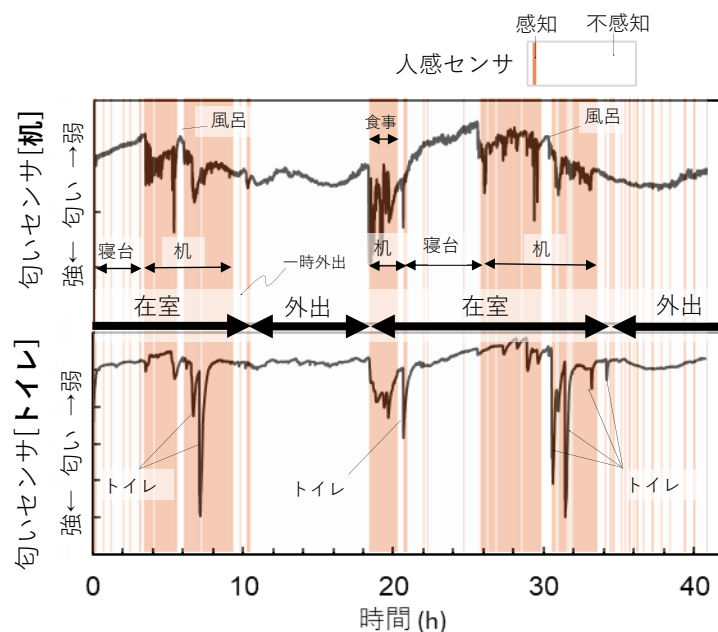


Fig. 2 Differences in odor sensor output depending on location

葉面付着水滴のレンズ効果による並行入射光の集光と気孔の開口による植物体内への水の移動

Optical model for the light collecting role for water droplets on the plant leaf surface and induced water physiology

北九州市大¹, [○](M1) 酒井 啓利¹, 河野 智謙¹

Univ. Kitakyu¹, [○]Hirotoishi Sakai¹, Tomonori Kawano¹

E-mail: g5mab009@eng.kitakyu-u.ac.jp

背景: 近年、光に応答して開口する植物の気孔の機能としてガス交換に加えて液体の水の交換の場としての機能が注目されている。特に早朝の太陽光に応答し開口した気孔を介して結露水が植物体内に取り込まれることが報告されている (Fig. 1A)。本研究では、早朝での狭角度あるいは並行入射光を葉面付着水滴がレンズ効果により集光する可能性とそれによる気孔の開口誘導、さらには植物体内への液体の水の移動が生じることなどを実験で確認した。

材料および方法: モデル葉面 (ピンホールをあけた黒色プラスチック板) 上に狭角照射された入射光 (白色 LED) の水滴による集光を分光放射照度計を用いて計測した (Fig. 1B)。

結果と考察: 水滴がない場合はモデル葉面への光の入射は確認できないが、水滴の存在によって、局所的に高輝度の光がモデル葉面上のピンホール上に集光されたことが示され、また集光効率は水滴サイズに左右されることが確認できた (Fig. 1C)。この局所的に観察された光強度は、気孔の開口を誘導するのに十分な光強度であり、様々な植物で安定同位体法および NMR 法で確認した水の交換活性を気孔が発揮できる条件でもある。

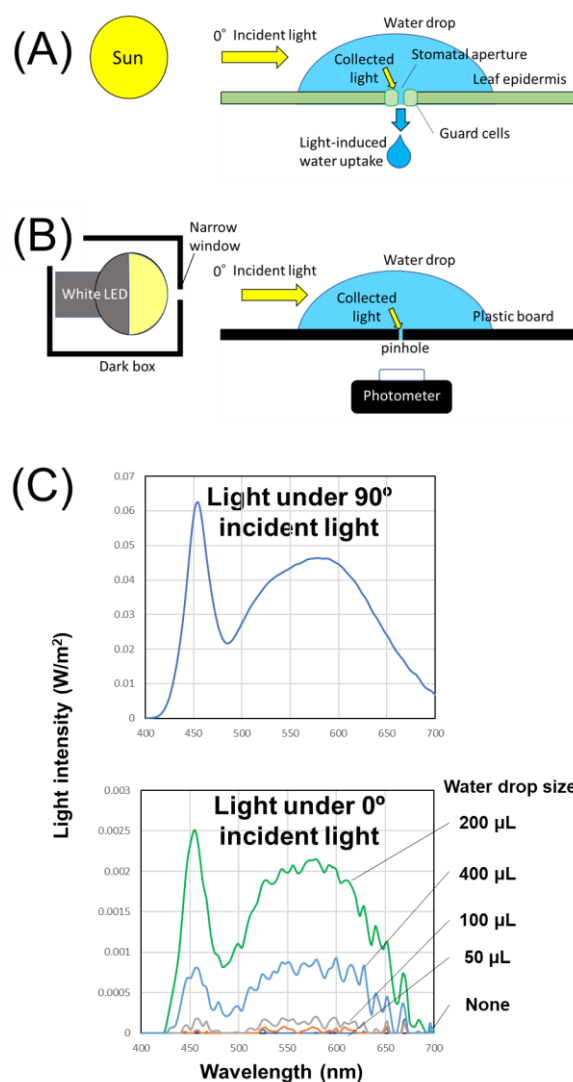


Fig. 1. Model for water drop-mediated light collection on the plant leaf. (A) Natural plant leaf model. (B) toy model to simulate the lens effect. (C) Optical data obtained.

デジタルマイクロミラーデバイス評価モジュールを用いた波動光学システムの構築

Development of a Wave Optics System

Using a Digital Micromirror Device Evaluation Module

岐阜工業高等専門学校 先端融合開発専攻2年 ○野田陽太, 河野 託也

Advanced Course, National Institute of Technology, Gifu College

Yota Noda and Takuya Kohno

海外では量子技術の産業化が進み、各国が国を挙げて研究開発や人材育成に取り組んでいる。日本でも2023年に内閣府が「量子未来産業創出戦略」を策定し、産学官を挙げて戦略の実現に向けた取り組みを進めている¹⁾。量子分野では各分野の急速な発展に伴い、量子技術を活用できる人材の不足が課題となっており、特に量子情報やセンシング、通信、コンピューティング分野では光を用いた系が中心的な役割を果たす事例が多く、光学系の整備が重要となる²⁾。高価な光学機器の制約はあるが、光学技術の習得は人材育成には不可欠であり、初等・中等教育段階からの体系的な量子教育の導入が望まれる³⁾。

本研究では、量子技術の理解に不可欠な波面制御を学べる波動光学システムの開発を進めている。安価なデジタルマイクロミラーデバイス (DMD) を用いてホログラムを生成・再生し、干渉や回折などの光学的現象を視覚的に学べるシステムを構築する。Fig.1 にシステムの構成を示す。本システムは、構成全体で約 10 万円程度と比較的安価であり、一般的な空間光変調器 (数百万円規模) と比べて導入コストを大幅に抑えられる。また、DMD は表示パターンの切り替えが容易であるため、回折格子の格子定数をリアルタイムに変化させ、回折角の連続的な変化の観察や複数パターンの即時切り替えによる干渉の変化の比較など、通常回折格子では困難な動的実験が可能である。Fig.2 に DMD で作成した格子定数の異なる回折格子の回折光を示す。現段階において、DMD によるホログラム再生の解像度および応答性に関する性能評価を実証実験により実施した。加えて、DMD の特徴である高速なパターン切り替え能力に着目し、リアルタイムで表示内容を動的に変更できる利点を活かした教育用光学教材としての有効性を明らかにすることを目指している。本報告では、まずホログラム再生用のシステムを構築し、その空間解像度および応答性について実験により評価を行った内容を示す。さらに、DMD の切り替え速度に関する特性を明らかにするために、明暗パターン切り替え時の反射光強度変化を測定し、その動作応答の結果を示す。

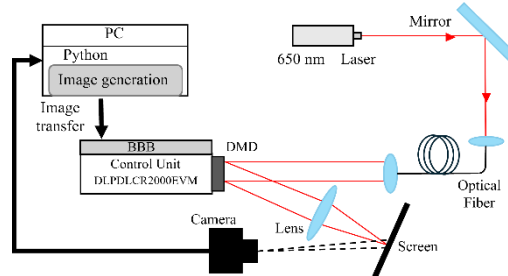


Fig.1 DMD を用いたシステムの構成
参考文献

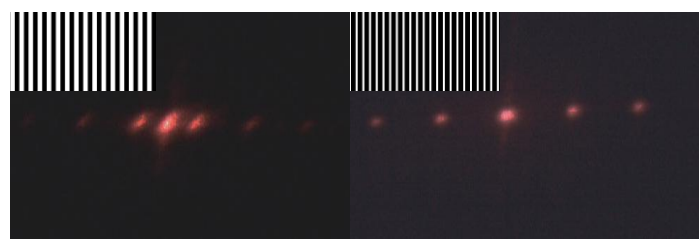


Fig.2 DMD で作成した格子定数の異なる回折格子による回折光

- 1) 内閣府:「量子産業の創出・発展に向けた推進方策(量子技術イノベーション会議より報告)」, pp. 2-10 (2024.4).
- 2) 井元信之:「光の量子性を利用した計測限界の打破 光を用いた量子測定研究の進展と今後の展望」, 光学, 42 巻 10 号, pp. 484-493, (2013.10).
- 3) 内閣府:「量子未来社会ビジョン(統合イノベーション戦略推進会議より決定)」, pp. 27-29 (2022.4).

岐阜高専における実践的な微細加工による半導体教育の構築

Construction of Semiconductor Education by Practical Microfabrication at Gifu Kosen

岐阜高専¹ °羽瀧 仁恵¹, 福永 哲也, 飯田 民夫¹, 白木 英二¹

NIT, Gifu College¹, °Hitoe Habuchi¹, Tetsuya Fukunaga¹, Tamio Iida¹ and Eiji Shiraki¹

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

【はじめに】高専では COMPASS5.0（半導体）事業として半導体人材の育成を推進している。岐阜高専においても半導体プロセスや半導体産業の理解を深めるため、企業と連携した教育を行ってきた[1]。我々のグループは、科研費・基盤研究(C)に採択された「高専における実践的な微細加工による半導体教育の構築と普及に向けたアプローチ」という研究課題のもと実践的な半導体教育の展開を予定している。その準備段階として、学生が半導体前工程プロセスを体験できるよう、メタルマスクを用いないマスクレス露光装置を導入し、マスクレスフォトリソグラフィ（MLL）による微細加工の実験を実施してきた。また、MLLは半導体デバイスの作製にとどまらず理科や物理の教育にも利用できることを示してきた[2, 3]。本発表では、この取り組みの概要と具体的な実践例を紹介する。

【実践例】 (a) **電極の作製** まずガラス基板に密着層のクロムと金をスパッタで成膜する。その上に MLL によりレジストで楕形電極のパターンを形成し、エッチングにより電極を作製した (Fig. 1)。電極は他の半導体の物性評価に使用する予定である。(b) **光学素子の作製** 電極と同じ要領でクロム膜を加工して開口パターンを形成し、回折実験を行った。Fig. 2 はピンホールの回折実験の結果である。得られた回折像は開口寸法と概ね一致したが、レジスト下部がエッチングされるアンダーカットに起因すると考えられる誤差も確認された。(c) **小中学生向けの教材の作製** 約 0.8 cm 四方の領域に星座を描いた原板を作り、LED を光源とした投影機を作製した。この投影機の仕事教室を大阪・関西万博で実施する予定である。その他、半導体素子の作製や、EDA を用いた LSI 設計教育なども報告する予定である。本研究は JSPS 科研費 25K06659 の助成を受けたものである。

【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] 羽瀧他:「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」第 85 回応用物理学会秋季学術講演会(2024.9), 16p-P07-6.
- [3] 羽瀧他:「マスクレスフォトリソグラフィを用いた理科教材の開発」第 72 回応用物理学会春季学術講演会(2025.3), 14p-P07-17.

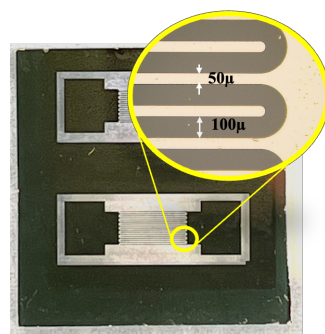


Fig.1 Gold comb electrode fabricated by MLL

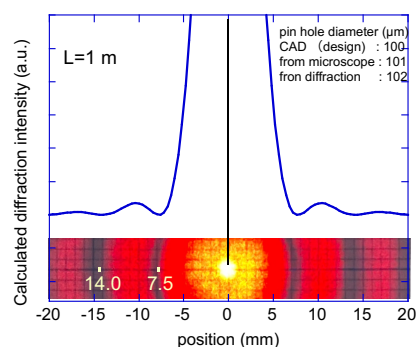


Fig.2 diffraction image and calculated diffraction intensity

LED 光センサ信号の受光幅を用いた速度推定の不確かさの要因の解析

Analysis of Uncertainty Causes in Velocity Estimation

Using LED Light Sensor Reception Width

岐阜工業高等専門学校 先端融合開発専攻 2 年 ○細野隼矢, 佐藤遼弥, 河野 託也

Advanced Course, National Institute of Technology, Gifu College

Shunya Hosono, Ryoya Sato, and Takuya Kohno

技術革新により今後の社会や雇用の変化が予測困難となっている。この変化に対応するため、新たな価値を創造できる人材の育成が求められており、各年代で主体的・対話的で深い学びが推進されている¹⁾。しかし、現在の実験学習では学生による改良が難しいマニュアル装置が多く、能動的な学びにつながりにくい。この課題から、探究的に学べる教材の開発が進められている²⁾。

本研究室ではその一環として、LED を光センサとして用いた実験装置の開発を進めてきた³⁾。この装置は LED を高密度配置することで、少ない試行で多くのデータを取得でき、統計的解析による評価を可能とする⁴⁾。本研究では、この特徴を活用し、異なる速度推定方法を考案・比較・改善することで、深い学びを提供できる教材の開発を進めている。速度推定方法の例として、2 個の LED 信号のピーク値を利用する方法と、単一 LED の信号の受光幅を利用する方法を取り上げ、実験評価を実施した。図 1 左は、単一 LED の信号を用いて得られた球体の速度推定の結果である。図右は、2 つの速度推定方法について、理論速度に対する相対誤差の不確かさの比較結果である。不確かさ量は半値全幅の値である。単一 LED を用いる速度推定方法の方が大きな不確かさを示している。この原因の追求と低減が課題である。その原因として、受光幅測定の際の波形解析におけるフィッティング手法の簡略化や複数ある LED 信号に対して受光幅の数値として 1 つの代表値を利用していることなどが考えられる。現在は、これらが不確かさに与える影響の評価を進めている。

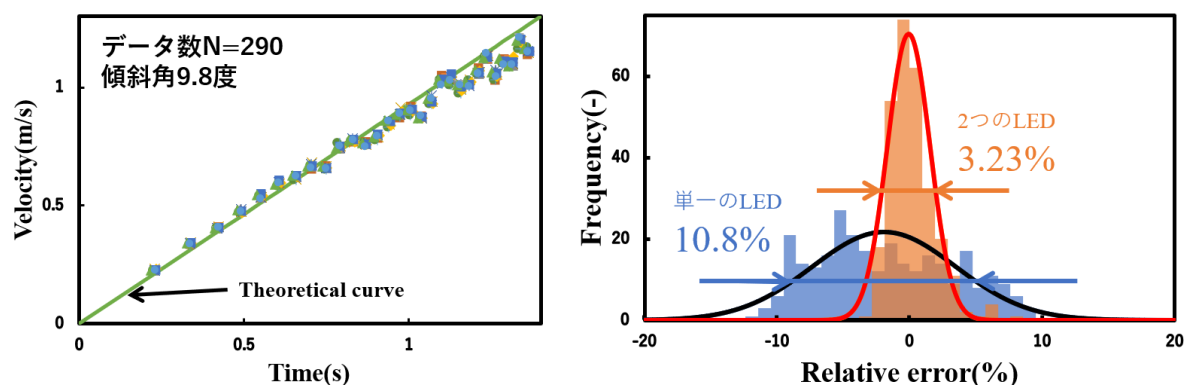


図 1 単一 LED 波形を用いた速度推定結果(左)と二つの速度推定方法の不確かさの結果(右)

参考文献

- 1) 文部科学省, 国際数学・理科教育動向調査 TIMSS2023 の結果(概要)のポイント, p.4 (2024).
- 2) 森愛実, 穴野彰彦, 寺島幸生: 応用物教育 42(1), pp.27-32(2018).
- 3) 塩中翔太, 河野託也: 応用物理教育, 44(1), pp.13-17(2020).
- 4) 高田崇天, 河野託也: 応用物理教育, 45(2), pp.47-52 (2021).

レーザー入射の空間オフセットを考慮した速度推定の不確かさの評価

Evaluation of Uncertainty in Velocity Estimation

from Considering Spatial offset of the incident laser

岐阜工業高等専門学校 先端融合開発専攻 ○佐藤遼弥, 細野隼矢, 河野 託也

Advanced Course, National Institute of Technology, Gifu College

Ryoya Sato, Shunya Hosono, and Takuya Kohno

現在, AI をはじめとする技術の発展により急速な社会変化を遂げる中で, 自ら考える力を持った人材が求められる. 主体性, 行動力, 創造性が, これからの社会で重要な役割を果たす¹⁾. これらの能力を育むためには, 授業内だけでなく, 教室外での学習活動を通して, 実践的な経験を積むことが望まれる. このような背景を基に, 学生が自ら探究的に学習できるような教材の開発が行われている²⁾. 本研究室では, この教材開発の一環として学生が自ら考え, 探求力を鍛える実験装置の提供を目指し, LED を光センサとして用いた実験装置の開発を進めてきた³⁾.

本研究では, LED 実験装置を用いた速度推定結果の不確かさの低減を目指している. 図 1 は斜面を転がる球体の運動を計測する実験装置である. 長さ 2m のレールの底に LED が等間隔に設置されている. そのレール上を球体が転がる. レーザーが球体の後方から照射され, 球体表面で反射, LED に入射される. LED から微小電流が流れそれを検出することで, 時間に対する球体の位置が推定できる. 先行研究では, 球体中心が LED の真上を通過した時に LED が電流を出力すると仮定して速度推定を行ってきた⁴⁾. 実際には, 図中の拡大図のように, 球体中心が LED の真上を通過した後にレーザーが LED に入射する. 厳密な速度推定を行うには, この空間的オフセットを考慮する必要がある. 球体に照射するレーザーの高さを変え, レーザーが LED に入射するオフセットを変化させる実験を行った. 図 2 は, その速度推定の解析結果のヒストグラムである. 空間オフセットが減少すると(右グラフ), ヒストグラムの標準偏差 σ が減少することが分かった. 実験データの解析は, レーザー光の空間オフセットを考慮する必要があることを確認した.

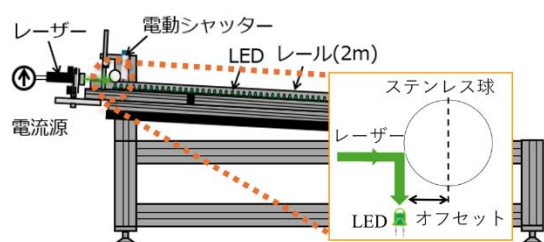


図 1 実験装置とレーザー,球体,LED の位置関係

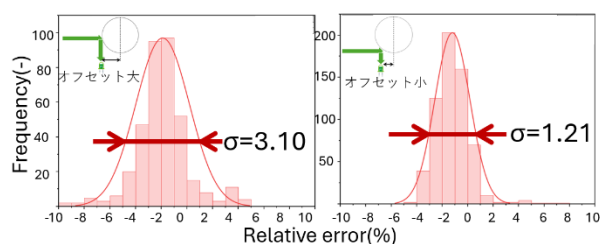


図 2 実験結果のヒストグラム

参考文献

- 1) 文部科学省,「高等学校学習指導(平成 30 年告示)解説総合的な探求の時間編」, pp.1-5 (2018).
- 2) 森愛実, 穴野彰彦, 寺島幸生: 応用物理教育 42(1), pp.27-32, (2018).
- 3) 河野託也: 光学, 46(6), pp.226, (2017)
- 4) 久芳友宏, 河野託也: 応用物理教育, 48(2), pp.37-42, (2024)

液体金属を電極に用いたシリコン太陽電池教材の検討

Investigation of Silicon Solar Cell Materials Using Liquid Metal as Electrode

舞鶴高専 田邊 真子, [○]内海 淳志, 蘆田 湧一, 石川 一平, 清原 修二

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

Yuichi Ashida, Ippei Ishikawa, Shuji Kiyohara

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

はじめに

技術の進化やデジタル化が急速に進む現代において、半導体技術者・研究者の育成強化が求められている。半導体について理解を深めるには、実際に半導体デバイスを作製することが効果的であると言える。しかしながら、半導体デバイスの作製には時間と複数の製造装置が必要であるため、大学・高専の実験実習においてその実施は難しいことが課題として挙げられる。この問題を解決するために我々の研究室では、スパッタ装置や蒸着装置を不要にし、かつ短時間での電極形成が可能となる方法として電極に液体金属を用いたデバイスを提案し、開発している[1]。液体金属は室温付近で液体状になる金属や合金であり、高い流動性、適度なぬれ性等の特徴がある[2]。本研究では、半導体デバイスとしてシリコン (Si) 太陽電池に着目し、その作製プロセスの確立と表面電極の形状の検討を目的とする。

実験方法

使用した基板は、片面研磨、厚さ 525 [μm]、抵抗率 1~10 [$\Omega\cdot\text{cm}$]の p 型 Si 基板である。有機洗浄、希フッ酸によって自然酸化膜を除去した後に pn 接合の形成を行った[3, 4]。

pn 接合を形成した Si 基板表面およびその裏面に液体金属を塗布して電極を作製した。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[5]。丸穴パターンのメタルマスクを用いてドット電極を作製した。また、電極の形状をドット電極から線状電極に変更することで、発電量がどのように変化するかを確かめた。

結果

液体金属を電極に用いた Si 太陽電池の作製を行い、その電流電圧特性および発電特性を評価した。その結果、0.11 [mA]の短絡電流が発生し、15.5 [μW]の最大出力電力が得られ、太陽電池として動作可能であることが確認できた。また、ドット電極から線状電極へ変更することにより発電量の増加を確認した。今後は発電量の増加を目指して電極形状の改良を進めた後に、教材としての完成度を高める予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP24K06370 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 萩原隆仁, 足立幹夫, 内海淳志: 第 67 回応用物理学会春季学術講演会予稿集 14a-PA1-30 (2020)
- [2] 飯田孝道: 溶接学会誌 62(7), pp. 508-511 (1993)
- [3] 西村 優, 田邊真子, 内海淳志, 石川一平, 清原修二: 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集 16p-P07-14 (2024)
- [4] 辻琢人, 長岡史郎, 若原昭浩: 工学教育 63(4), 33~36 (2015)
- [5] 内田竣也, 熊谷昌城, 内海淳志: 第 69 回応用物理学会春季学術講演会予稿集 26a-P02-8 (2022)

半導体熱電特性の簡易的評価手法の検討

Investigation of an Easy Evaluation Approach for Thermoelectric Characteristics of Semiconductor Materials

舞鶴高専 澤井 俊亮, [○]内海 淳志, 蘆田 湧一, 石川 一平, 清原 修二

NIT, Maizuru College, Syunsuke Sawai, [○]Atsushi Utsumi, Yuichi Ashida,

Ippei Ishikawa, Shuji Kiyohara

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

はじめに

半導体工学では、不純物半導体の種類として p 型と n 型があることを学習する。しかしながら、実際のシリコン(Si)基板を見比べても、p 型と n 型の違いはわからない。簡易的な測定で pn 判定を実現する方法としてホットプローブ法がある[1]。本研究では電気電子系の実験室であれば、どこにでもあるハンダごてとテストを用いて、Si 基板の pn 判定を試みた。また、この簡易的な測定方法を用いて Si 基板の熱電特性(熱起電力)の評価を試みたので報告する。

実験方法

基板は、n 型と p 型の 2 種類の Si 基板を用いた。n 型基板の抵抗率は $1\sim 5 [\Omega\cdot\text{cm}]$ であり、p 型 Si 基板の抵抗率は $1\sim 10 [\Omega\cdot\text{cm}]$ である。また、基板の厚さはどちらも $525 [\mu\text{m}]$ である。測定は、鏡面研磨した Si 基板の表面に、高温側と低温側の 2 本のプローブを接触させて行った。それぞれのプローブの先端には熱電対を取り付け、電圧と温度を同時に測定できるようにした。なお、今回の測定では、低温側のプローブをあらかじめ Si 基板表面に接触させておいて、そのプローブの電位を基準電位とした。高温側のプローブは、温めたハンダごてに接触させて所望の温度まで上昇したことを確認してから、Si 基板表面に接触させた。その際、基板表面に接触させた 2 本のプローブの間隔は、 $10 [\text{mm}]$ となるように配置した。高温側のプローブの温度が室温に下がるまで、電圧を測定した。

結果

まず、n 型 Si 基板を用いて測定を行った。高温側プローブが基板表面に接触したときの温度は $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ であったが、測定した電圧の値が不安定であり、安定して電圧が計測できたのは $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下であった。そこで、 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ から室温までの電圧変化を測定することにした。n 型 Si 基板表面で発生する電圧は、温度差 65°C において $100[\text{mV}]$ を示し、テストを用いて測定できることを確認した。n 型半導体では熱励起によって発生した電子が高温領域から周囲に拡散するため、高温プローブの接触点付近は正に帯電する。このことから、測定した電圧が正の値を示したことは理論と一致する。一方、p 型 Si 基板を用いて同様の測定を行った結果、プローブ間の温度差 65°C において $-70[\text{mV}]$ を示した。これらのことから、ハンダごてとテストを用いた簡易な方法で、pn 判定ができたと言える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP24K06370 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] G. Golan, A. Axelevitch, B. Gorenstein, V. Manevych : Microelectronics Journal 37, pp. 910-915 (2006).

レーザ光を用いた pn 接合の評価方法の基礎的検討

Fundamental Study on pn Junction Evaluation Method Using Laser Light

舞鶴高専 四方依吹, [○]内海 淳志, 蘆田 湧一, 石川 一平, 清原 修二

NIT, Maizuru College, Ibuki Shikata, [○]Atsushi Utsumi, Yuiti Ashida,

Ippei Ishikawa, Shuji Kiyohara

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

はじめに

近年, 社会のデジタル化が急速に進む中で半導体の需要が増しており, それを生産するための技術者が不足している. しかしながら, 半導体工学の修得は難しく, 理解を深めるには実際の半導体を扱い, 生じる物理現象を観察することが重要である. 一例として, 半導体工学で学ぶ内容に pn 接合があるが, 半導体基板やデバイスの外観からその有無を確かめたり, 働きを想像したりすることは容易ではない. そこで, pn 接合とその働きを学んだ後に理解を深めるために行う簡便な実験として導入可能な, レーザ光を用いた pn 接合の評価方法を検討したので報告する.

評価手法

使用した基板は, 厚さ 525 [μm]の抵抗率 1~10 [$\Omega\cdot\text{cm}$]の p 型シリコン(Si)基板である. 不純物密度は $3\times 10^{20}[\text{m}^{-3}]$ であり, ここに n 型不純物をドーピングして pn 接合を形成した. n 型層の厚さを 1 [μm]と仮定し, 不純物密度を推定すると $1\times 10^{22}[\text{m}^{-3}]$ であった[1].

pn 接合の有無を調べるため, n 型半導体である基板表面に 2 本のプローブを, 間隔を空けて配置し, 片方のプローブ先端付近に励起レーザ光を照射する. なお, 今回使用したレーザ光の波長は 655[nm]である. 基板表面 (n 型) からレーザ光を照射すると pn 接合に光が届き, 電子-正孔対が発生する. 空乏層で発生した電子と正孔はそれぞれ n 型側と p 型側に移動する. 励起光を集光したビームの状態で n 型側から照射すると, 光が照射された領域とその付近でのみ電子が増加する. この原理を利用することで, n 型側に配置したプローブ間に電圧が発生し, その電圧を測定することが可能となる. また, この電圧の正負より発生したキャリアが電子か正孔かを判断することができる.

結果と考察

pn 接合を有する Si 基板の n 型側にレーザ光を照射して測定した場合, 負の電位が得られた. 確認のため, レーザ光を照射せずに測定した場合は, プローブ間に電圧が発生しなかった. また, Si 基板の p 型側にレーザ光を照射して測定した場合, レーザ光の照射の有無に関わらず電圧が発生しなかった. この理由としては, p 型 Si 基板が厚かったため, pn 接合に到達するまでに光が減衰したものと考えられる. 結果として, 本評価手法を用いることで, pn 接合の有無および n 型側, p 型側の判定ができることがわかった. また今回の検討で, pn 接合が基板表面からどのくらいの位置に形成されているかを評価できる可能性が見いだせた.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP24K06370 の助成を受けたものです.

参考文献

[1] 西村 優, 田邊真子, 内海淳志, 石川一平, 清原修二: 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集 16p-P07-14 (2024)

アニーリング処理による放射線教育用 PADC の溶解性向上に関する研究

Study on the Improvement of Solubility of Educational Radiation Detector PADC

by Annealing Treatment

舞鶴高専, °(B)小川隼, 石川一平, 清原修二, 内海淳志

NIT (KOSEN) Maizuru, °Hayato Ogawa, Ippei Ishikawa, Shuji Kiyohara, Atsushi Utsumi

E-mail: a0531@g.maizuru-ct.ac.jp

1. はじめに

本研究室では, PADC (Poly Allyl Diglycol Carbonate) を用いた放射線教育の手法を提案している¹⁾. PADC は, α 線などの重荷電粒子を検出可能な固体飛跡検出器の一種である. 本研究の目的は, PADC を放射線教育の教材として活用することである. しかしながら, PADC を用いた教育実験には, 現行の PADC では多くのエッチング時間を要するという課題がある. そこで本研究では, アニーリング処理により溶解性を向上させた PADC の開発を試みた.

2. 実験方法の概要

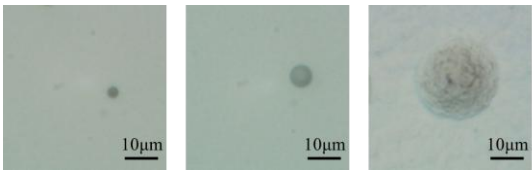
PADC は, モノマーである ADC と重合開始剤の IPP (ビスペルオキシド) を混合し, 加熱することで形成される熱硬化性樹脂である. 本研究では, 樹脂形成後にアニーリング処理を施し, その温度が溶解性の向上に寄与すると考えた. 作製した PADC を 10 mm 角に切断し, 真空中で ^{241}Am 標準線源から放出される α 線を照射した. その後, 化学エッチングを行った. 本研究で使用したアニーリング条件およびエッチング条件を Table 1 に示す.

Table 1 Experimental conditions

Annealing time [min]	30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
Annealing temperature [°C]	130, 140, 150
Etchant	Sodium hydroxide 30 wt%aq
Etching time	10 min

3. 実験結果の概要

エッチング処理後の PADC 表面の光学顕微鏡写真を Fig. 1 に示す. Fig. 1(a)は, アニーリング処理を施していない PADC である. Fig. 1(b)は, 温度 130°C 時間 30 分でアニーリングを実施したものであり, Fig. 1(c)は温度 150°C, 時間 30 分でアニーリングを実施したものである. 各図を比較すると, アニーリング温度の上昇に伴い, 放射線による損傷(エッチピット径)が徐々に拡大していることが確認できる. Fig. 1(c)ではエッチピット径が拡大する一方, 飛跡の明瞭度が低下している. そのため, アニーリング条件に合わせたエッチング条件の最適化が重要になる. これらの結果より, PADC の溶解性を向上させることで, エッチング時間の短縮が可能である.



(a) 0°C (b) 130°C (c) 150°C

Fig. 1 Etched pit at different annealing temperatures

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).

PADC を用いた放射線実験における観察時間短縮のための処理手法の比較

Optimization of Processing Conditions for Shortening PADC Etching Time

in Educational Use

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: a0532@g.maizuru-ct.ac.jp

【はじめに】 本研究グループでは、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て、小・中学生向けの教育教材として活用を試みてきた¹⁾。しかし、PADC を用いた実験はエッチングに時間を要する点が課題である。そこで本研究では、PADC に対して重合禁止剤の添加や、UV 照射、およびエッチング溶液改良を行い、光学顕微鏡で観察可能なエッチピット径を 10 μm とし、その径に達するまでの時間を比較することで、実験の時間短縮効果を評価する。

【実験方法の概要】 PADC は ADC モノマーに重合開始剤である IPP (ビスペルオキシド) を混合し、加熱することで形成される。Fig.1 にプラスチック製法方法を示す。本実験では、実験時間短縮のために、従来と比べ、重合過程におけるヒドロキノンの添加、PADC 形成後の UV 照射、エッチング過程におけるエタノールの添加を施している。

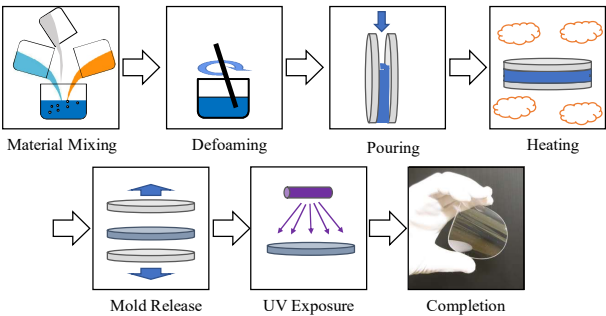


Fig.1 PADC manufacturing with polymerization inhibitors and UV surface modification

【実験結果の概要】 ヒドロキノノン添加濃度を 3 種類に設定して PADC を作製した。UV 照射は、照射強度を、約 1.3 mW/cm² となる位置において 100 時間行った。エッチングは、30 wt% NaOH および 1 wt% エタノールを混合した水溶液中で 90 °C を一定に保って実施した。各条件におけるエッチピット径が 10 μm に到達するまでのエッチング時間を Table 1 に示す。ヒドロキノンを 0.30 wt% を添加した PADC では、約 4 分のエッチングでエッチピット径（放射線の可視化結果）が 10 μm に到達した。これは、従来の条件と比較して、約 15 分のエッチング時間の短縮に達成したことを示している。

Table 1 Etch Time to the Etched Pit Diameter of 10μm

PADC conditions		Time to 10 μm
Conventional		19 min
Hydroquinone +UV 100h +Ethanol 1 wt%	0.20 wt%	5 min
	0.25 wt%	5 min
	0.30 wt%	4 min

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)

カッティングマシンを用いたマスク作製による pn 接合形成の精度向上

Improvement of pn Junction Forming Accuracy
by Mask Fabrication Using a Cutting Machine

釧路工業高等専門学校 ◯(B)小林 奈和, 渡部 勝喜, 井戸川 慎之介

NIT, Kushiro College ◯N. Kobayashi, K. Watabe, S. Idogawa,
E-mail: s240708@kushiro.kosen-ac.jp

はじめに: 半導体デバイスの作製には高価な設備や危険な薬品を必要とするため、学校教材として導入するには、安全性やコスト面で課題がある。従来の研究では、カッティングマシンを用いて自由な形状のマスクを作製し、Spin On Glass (SOG)法を用いて低コストかつ安全にpn接合を形成する手法を示した。本研究では、マスクの位置合わせ精度を改善することで集積度の向上を目指し、作製したデバイスの特性評価を行った。

実験方法: デバイス作製は以下の手順で行った(Fig. 1 (1)). (a) 20[mm]角の Si 基板を洗浄し、1050[°C]で1時間ウェット酸化を行う。(b) 拡散領域用マスクを貼り、Buffered HF (BHF) で酸化膜を部分的に除去。(c) スピンコーターで SOG 剤を塗布し、窒素雰囲気中で 1150[°C], 2 時間熱拡散を行う。(d) 最後に表面の SOG 層と酸化膜を除去し、電極用マスクを貼り真空蒸着法で Al 電極を形成する。マスクは、素材となるカプトンテープ(3M 耐熱ポリイミドテープ 5413)をクリアファイルの内面に貼り付け、カッティングプロッターで任意の形状に切断し、転写シート(ダイシング用テープ)と転写用治具を用いてウエハ面にマスクを貼り付ける。

結果と考察: 従来、基板 20[mm]角にダイオード 9 個の集積度が、本手法により 25 個と高い集積度を実現した。ただし、カプトンテープと転写シートの粘着力が重要となる。カプトンテープの粘着力が弱いと BHF 処理の時にマスク下に薬液が回り込み、本来残す部分までエッチングが進むことがある。マスクの形状は、角のある形状は転写時に裂けやすいため、レイヤー設計の際に注意が必要となる。また、集積度を上げるほどパターンが細くなるため、長時間のウェットエッチングが難しく厚い酸化膜を使用できないため、高濃度で深い拡散はできないことが判明した。この結果から、従来の研究のマスク位置合わせ精度を安価に向上し、カプトンテープを用いたマスク作製における集積度向上が実現できた。

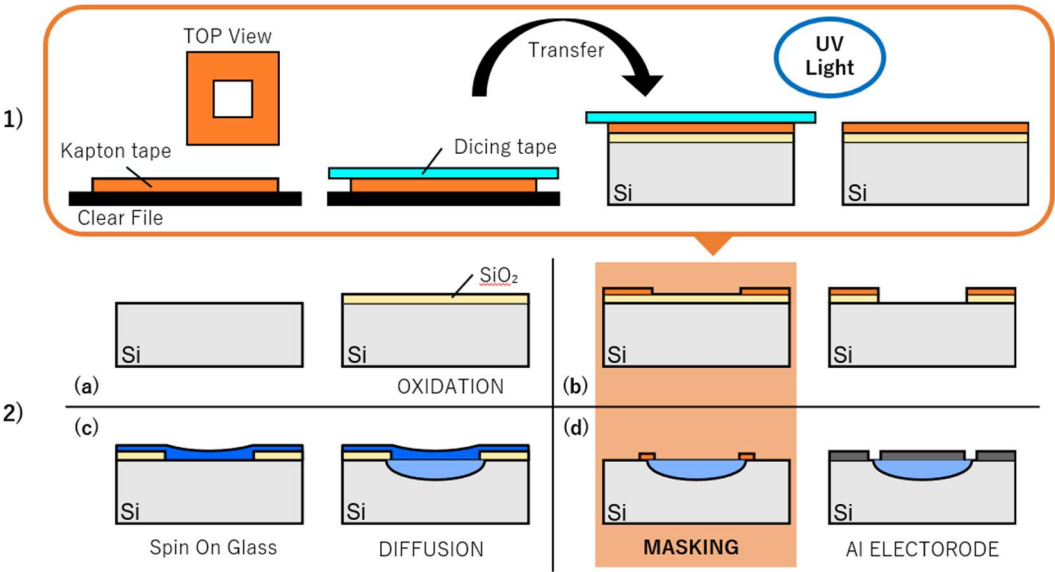


Fig. 1. (1) Fabrication processes of mask. (2) Fabrication processes of pn junction

3D プリントを用いた簡易分光器の試作

Prototype of a simple spectrometer using a 3D printer

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

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 昨今の経済環境を鑑みて、さらなる低価格化、および研究者自身が内製（外部委託で作製）するための検討をおこなったので報告する。

実験

従来報告では基板設計はKiCAD、製造はJLCPCB、部品調達はアリババ、Amazon、筐体はタカチ電機を利用していた。課題としては専用設計ではないために各要素の配線、配置に難があった。

コスト見直しの際に、マイコン、ADCボードは外部品を流用しているので制約があり、主に光学、筐体部分を再設計することとした。従来は光学部分が一つ、光学と回路を筐体に収納していた。今回は、光学部分と回路部分を2層にして積み上げる形状とした。

また、3Dプリンタの汎用化が進んできたため、利用することとした。使用機材はBambuLab A1

miniである。フリーCADでモデリングした後、造形した。外部委託の場合はSTEPファイルをJLCPCB、PCBWAY、ミスミメビーなどにアップする。製造方法、材料、など細かに設定でき見積もりだけでも可能だ。

結果

図2に示すように基板を任意に配置でき、小型化できた。ピンホールの造形もできた。コストは図1、2で比較して1.5~2.0万円安くできた。(3Dプリンタ代は除く)

フィラメント材質や寸法精度に不安がある場合は、外部のCNC加工サービスをお勧めしたい。

経済環境が厳しい中においても、安価になったマイコンボード、フリーCAD、外部委託サービスを利用して測定環境が得られる可能性がある。

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)

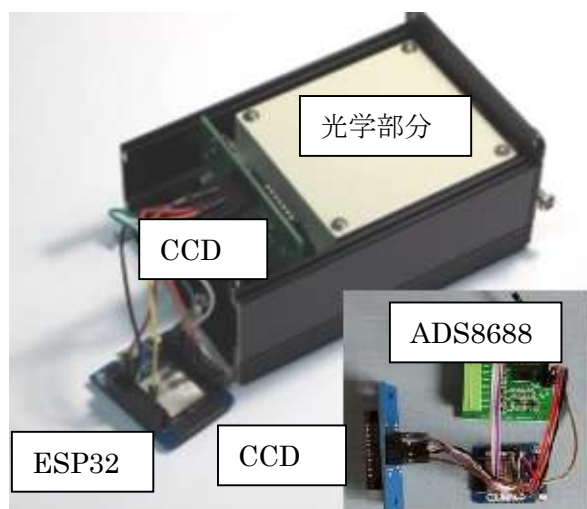


図1. 前回の試作分光器

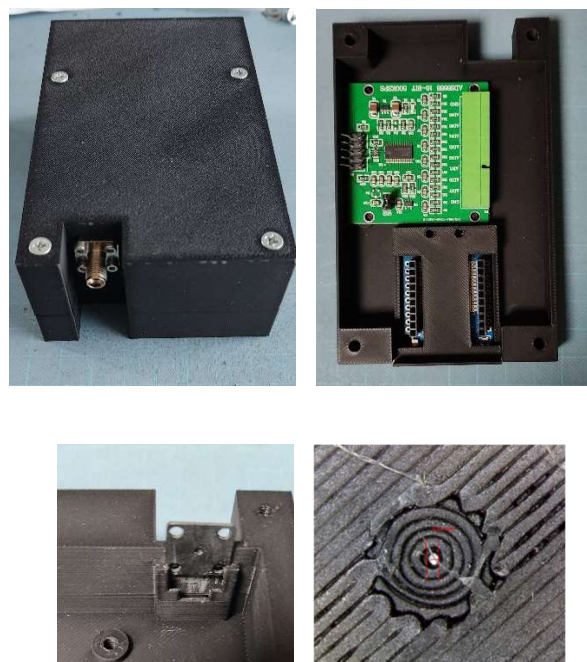


図2. 今回の試作分光器

産官学連携による蓄電池人材育成教材の開発とその教育効果の検証

Development and Evaluation of Educational Materials for Battery Human Resource Training through Industry-Academia-Government Collaboration

石川高専¹, 新居浜高専² ○山田 悟¹, 香川福有², 松英達也², 嶋田直樹¹, 倉部洋平¹

National Institute of Technology, Ishikawa College¹,

National Institute of Technology, Niihama College²

○S. YAMADA¹, T. KAGAWA², T. MATSUE², N. SHIMADA¹, Y. KURABE¹

E-mail: satoru@ishikawa-nct.ac.jp

1. はじめに

蓄電池は、カーボンニュートラルの実現に不可欠な技術の一つである。蓄電池分野を支える人材の育成・確保を目的として、蓄電池関連産業が集積する関西地域において、産業界、教育機関、自治体、支援機関等が参画する「関西蓄電池人材育成等コンソーシアム」（以下、コンソーシアム）が設立された。コンソーシアムでは、産官学の連携により、教育機関向けに蓄電池への興味を喚起し、開発・製造に関する基礎的な知識と技術を学ぶことを目的とした教材を開発した。

本研究では、開発された教材の内容を紹介するとともに、実際の授業における活用を通じて、蓄電池技術に対する理解促進にどのような教育効果があったかを検証した結果について報告する。

2. 教材の概要

開発された教材は、「バッテリーに興味・関心を持ってもらう」ことを目的とした STEP1 教材、「バッテリーについて専門的に学ぶ」ことを目的とした STEP2 教材、および産業技術総合研究所関西センターでの実習で構成されている。

STEP1 教材は、蓄電池業界への入門編として位置づけられており、STEP2 教材では、機械・電気・化学などの各専門分野で学んだ知識が、実際の蓄電池製造工程においてどのように活用されているかを深く学習することを目的としている。

3. 教材の学生への教育効果

石川高専電気工学科3年生を対象に、STEP1

教材を用いた授業の実施前後で「蓄電池分野への興味」に関するアンケート調査を行った。その結果を図1に示す。講義前には「全く興味がない」「あまり興味がない」と回答した学生が全体の28%を占めていたが、講義後には7%まで減少した。このことから、STEP1教材には、学生の蓄電池分野に対する興味・関心を高める効果があることが示唆される。また、機械工学科3年生にSTEP2教材を用いた授業を行ったところ、蓄電池分野を将来のキャリアとして意識する学生が増加した。これにより、教材には将来の進路意識にも影響を与える可能性があることがわかった。

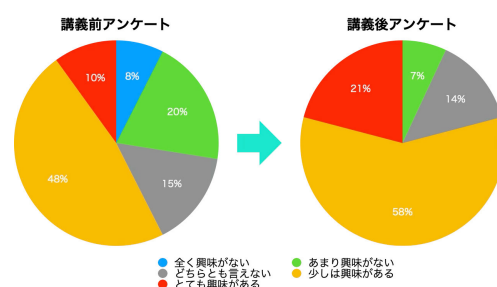


図1: 講義前後アンケート

謝辞

蓄電池人材育成教育プログラム用教材の作成にあたり、事業主体である経済産業省および近畿経済産業局の皆様には多大なるご支援とご尽力を賜りましたこと、深く感謝申し上げます。また、教材作成に際しては、関西蓄電池人材育成等コンソーシアムに加盟する産業界の皆様にも主体的にご協力いただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

小中学生向け探究プログラム「福井大学 STELLA プログラム」での自由研究

Independent research in the " University of Fukui STELLA Program" inquiry program

for elementary and junior high school students

福井大教育¹ ○栗原一嘉¹, 葛生 伸¹

Univ. of Fukui¹ °Kazuyoshi Kurihara¹, Nobu kuzuu¹

E-mail: stella@ml.u-fukui.ac.jp

【はじめに】福井大学教育学部では、福井大学 STELLA プログラムを 2024 年度開始した¹⁾。2024 年度は 20 名が受講し、10 名が修了した。受講生は種目毎に指定された講座を受講するとともに、自由研究を各自行い、成果発表会で発表する。

【自由研究】11 月末締め切りで自由研究報告書を提出して、12 月はじめに中間発表を実施した。その後、2 回の中間報告会で研究内容、発表方法について指導したあと、3 月初旬に成果報告会で発表した(表 1)。最終報告会で報告した。特に受講生からの質問がない限り報告会以外の指導は実施しなかった。一部、研究計画の段階のものもあったが、いずれも良くまとまったものであった。

【第二段階への選考と課題探究】発表の状況と、受講の状況をもとに修了判定と第二段階進級の判定を行った。発表レベルは、内容的に十分だったが、受講レポート未提出もの者もいたが、期限を決めて受理後条件を満たした者を合格とした。指定した期限にすべて修了条件を満たしたが、1 名は受験準備を理由に第二段階進級を辞退した。第二段階では、指導教員を決めて課題探究をする。9 名のうち、2 名はテーマ変更を希望した。表 1 の②の受講者は AI 関係のテーマを、⑧の受講者はカキ殻の有効利用の研究を希望している。テーマに応じて指導教員を選びさらに課題探究を進める予定である。課題探究は、3 月初旬の成果報告会まで続けるが 8 月末の中間報告会で、2 名を選考し、11 月に東京で開催されるサイエンスカンファレンスで発表する予定である。

【課題と今後の対応】2024 年度は初年度であったことと、最終的に残った人が 10 名程度だったこともあり、第一段階の受講生に対しても中間発表会で実質的に指導する機会が十分あった。2 年目は応募者が十分多いため、定員 40 名を満たす予定である。中間発表会は最初の 2 回は第二段階の人の聴講が主となり、成果報告会もポスター発表になる予定である。そのための実施体制に関して十分整備する必要がある。

表 1 自由研究テーマ (成果報告会)。2 行目の→つけたものは第二段階課題研究の希望テーマ

	成果報告会題名	学年
①	スープの冷め方の研究	小 5
②	黒豆を一番黒く煮る研究 → AI 関係のテーマ	小 5
③	感染シミュレーター ver. 2.0	小 5
④	睡眠と記憶の関係	小 6
⑤	プラナリア～微生物の再生能力と集まる習性～	小 6
⑥	サンボールでの水素発生実験	中 1
⑦	日本は原子力発電を再生可能エネルギーに置き換えられるのか ～地理的に考える～	中 1
⑧	日本刀の外装について → 牡蠣殻の有効利用	中 1
⑨	席替えで好きな人と近くに座れる確率と最適な席の配置は？	中 1
⑩	サービスエースを取りたい!!	中 2

1) 栗原一嘉, 葛生伸「小中学生対象の探究プログラム『福井大学 STELLA プログラム』」『応用物理学会第 72 回春季学術講演会』14p-P07-26 (2025.3.14).

ICT を用いた活動中の喚起されたポジティブ感情と学びについて

Evoked Positive Emotions of the Learners During the Activities Using ICT

中央大工¹, お茶大基幹研究院², [○]曾江 久美¹, 伊藤 大幸²

Chuo Univ¹., Ochanomizu Univ.²

[○]Kumi Soe¹, Hiroyuki Itoh²

E-mail: ksoe248@g.chuo-u.ac.jp

【はじめに】2020 年度以降, 小学校から順次新学習指導要領が実施されている。今回の改訂は, 「知識及び技能」「思考力・判断力・表現力など」「学びに向かう力, 人間性など」の 3 つの柱で構成されている。そして, アクティブ・ラーニングの視点から「主体的・対話的で深い学び」に注視した授業改善が必要とされている。「主体的な学び」の着眼点は, 学習者が興味関心を持つこと, 見通しを持って粘り強く取り組んでいること, また自己の学習の振り返りを通して進めていくことなどが実現できているかにある。しかしながら, これらの定着については, 今まで実施してきたテストからだけでは評価することが非常に難しいと考えられる。そこで本研究では「主体的な学び」が学習者の心理学側面を含むことに着目した。学習に関する概念である「学びのエンゲージメント」⁽¹⁾の中の「感情的エンゲージメント」に注目し, 学びの中で喚起されるポジティブ感情について調査を実施し学習者の主体的な学びについて検討・考察を行った。

【概要】先の報告では感情と学びについて, リモート科学教室前後の感情の変容から統計的な分析を行った⁽²⁾。これより, 教室に参加した児童の感情の変化が結果的には教室参加に対する肯定的な意見として反映されていると考えられた。今回は, 前回と同様に ICT を活用した科学教室内容（プログラミング教育を取り入れた）とし, 特に前回のアンケートで回答群が頭打ちのため選択肢が無く統計的な有意差が認められなかったと考えられた「ポジティブ感情」に着目し, 学びとの関連性について検討を行った。また, 対面とリモート 2 つの形態についても比較した。

【調査の実施】2024 年 8 月に 2 箇所で開催した。対象者は小学校 4 年生以上である。A 教室は対面形式で参加者 18 人であり, B 教室はリモート形式で参加者 28 人であった。教室終了後にアンケートを実施した。今回の教室は, 光の 3 原色を使って自分の好きな色のランプを作製する内容であった。マイクロビット（小さなコンピュータ）と Microsoft MakeCode を使い混色するための制御部分であるプログラムを各自が作成して実行した。この教室は簡単なプログラミングを通じて, 日常にある“ランプの光の色を変える”ことと“そのための色の混色について学び”, 活用（実行）できるようになることが狙いである。リモート科学教室実施中の「楽しいな」と感じた頻度と「教室終了時の気持ち」の相関係数は $r = .82$ であり強い相関があることがわかった。

【参考文献】

(1) Christenson, S.L., Reschly, A.L. & Wylie, C. (2012) *Handbook of Research on Student Engagement*.

New York: Springer.

(2) 曾江久美, 他: 「リモート科学教室における子供たちの学び」 応用物理教育, 46(1), 13-18, 2022

誘導電荷電気浸透流を用いたヤヌス粒子による粒子分離・回収

Particle separation and recovery using Janus particles with induced charge electroosmotic flow

慶大理工 ○(M2) 大久保 寧雄, 齋木 敏治

Keio Univ. Neo Ookubo, Toshiharu Saiki

E-mail: neomill@keio.jp

本研究では、環境中のマイクロ・ナノプラスチック (MNP) を効率的に回収するための新しい手法として、誘導電荷電気浸透流 (ICEO) とヤヌス粒子の併用を提案する。従来の回収技術ではサイズや材質の制御が難しかったが、本手法では電場によって生成される ICEO 流と、自己駆動性を有するヤヌス粒子の選択的な運動を組み合わせることで、特定サイズの粒子をターゲットとして集めることを可能とする。

マイクロ・ナノプラスチックは環境中における新たな汚染源として注目されており、効率的な分離・回収手法の開発が求められている。誘導電荷電気浸透流 (ICEO) は、交流電場下で電極表面に誘導される電荷により液体が流動する現象であり、粒子の集積に利用可能である[1]。

一方、ヤヌス粒子は両面で異なる表面性を持ち、外部電場により方向性のある運動を示す。本研究ではこれらを組み合わせ、ヤヌス粒子を誘導電荷電気浸透流によってできる渦内を運動させることで、新しい粒子回収システムを構築することを目的とする。

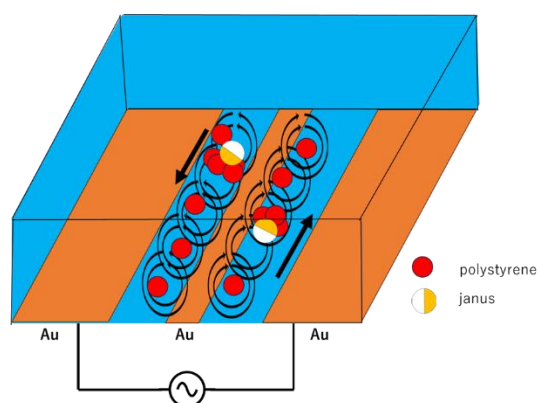


Figure 1: particle focusing with ICEO and particle recovery with janus particle

今回の実験では、基板上に幅 200 μm の金電極を作製し、水中にポリスチレン粒子 (直径 10 μm) および片面に金をコーティングしたヤヌス粒子を分散させた。10 V

の電圧と 100–900 Hz の交流電場を印加(②)し、光学顕微鏡下で時間に応じた粒子の挙動を撮影した。

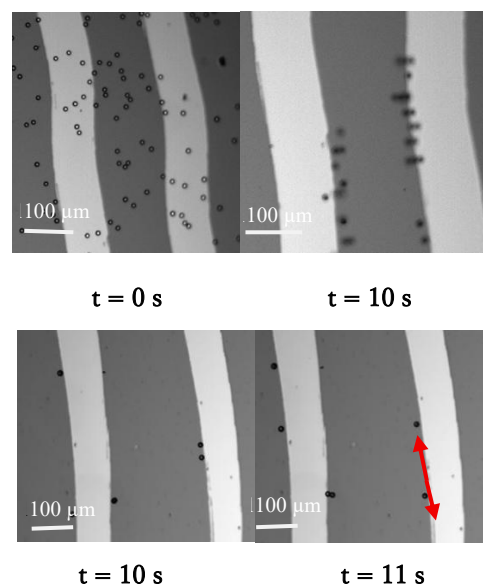


Fig 2: Focusing and movement of particles
(top: polystyrene particles,
bottom: Janus particles)

ICEO 流によってマイクロプラスチック粒子は電極近傍に集積した。ヤヌス粒子は電場の印加により一方向に自走し、集積領域を通り抜けるような運動を示した。これらを組み合わせることにより、集積した粒子の効率的な回収が期待される。

本研究により、ICEO 流とヤヌス粒子を併用することで、マイクロ・ナノプラスチックの選択的な集積・回収に向けた指針を示すことができた。今後は、条件の最適化を進め、実用的な分離デバイスへの応用を目指す。

参考文献

[1] X. Chen, Y. Ren, L. Hou, X. Feng, T. Jiang, and H. Jiang, “Induced charge electro-osmotic particle separation,” *Nanoscale* 11(13), 6410–6421 (2019).

ナノ表面を持つチタンを用いたマイクロ流路デバイスの作製

Fabrication of microfluidic devices by applying titanium nanosurface modification



東京科学大学¹, 東北大学大学院医工学研究科²

(M) 渡邊天¹, 山田将博², 柳田保子¹

Institute of Science Tokyo¹

Tohoku University Graduate School of Biomedical Engineering²

Sora Watanabe¹, Masahiro Yamada², Yasuko Yanagida¹

E-mail: watanabe.s.7e4c@m.isct.ac.jp, yanagida.y.aa@m.titech.ac.jp

諸言

Organ-on-a-chip 技術を応用して、歯周組織（歯根膜を含む）を模倣したマイクロ流体デバイスの開発を目指す。本研究では、栄養素と代謝産物の循環を促し、ヒト幹細胞の分化を誘導して歯周環境を再現するデバイスの作製を目的とする。チタンの生体適合性を生かし、歯根膜細胞の長期培養と分化のためのデバイスについて検討する。

実験方法

マイクロ流体デバイスは、スライドガラス上に非毒性の両面テープを使用してチタン片を接着し、マイクロ流路をプラズマ接着することで作製した。マイクロ流路は、生体適合性のあるポリジメチルシロキサン(PDMS)を用いて作製した (Fig.1)。マイクロ流路デバイスをオートクレーブで滅菌することで、流路内の無菌状態を確保し、これに 37°C で培養した HeLa 細胞を含む DMEM 培地を送液した。細胞を顕微鏡を用いて経時的に観察し、培養液を毎日交換した (Fig.2)。

結果

HeLa 細胞が十分に接着したことを確認後、装置からチタン片を取り外し、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いてチタン表面を観察したところ、HeLa 細胞がチタン表面上に接着し、増殖したことが確認された (Fig.3)。これらの結果から、チタン表面上での細胞の安定した培養には、PDMS マイクロ流路デバイスの製造手順と流路内の培養環境が重要であることが示された。

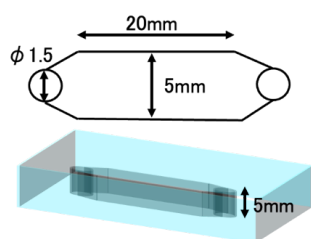


Fig.1 PDMS flow channel

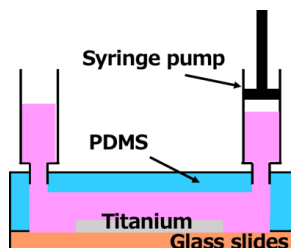


Fig.2 Fabricated microfluidic devices

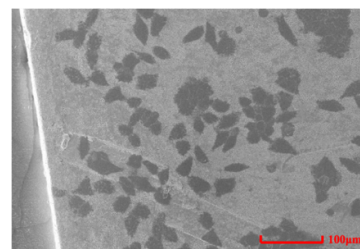


Fig.3 SEM observation results

参考文献

Masahiro Yamada Titanium, et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 2022, 14, 27703–27719

ポリスチレンビーズで形成されたコーヒーリングによる回折光の分光測定 Spectroscopic Measurement of Diffracted Light from Coffee Ring Formed by Polystyrene Microbeads

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構

○松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo,

○Akihiro Matsutani¹

E-mail: matsutani.a.644e@m.isct.ac.jp

コーヒーリングとは微粒子を含む液体が蒸発した後に現れるリング状の蒸発残渣物のパターンのことである[1]。このようなリングは、Fig. 1に示すように微粒子の懸濁液が乾燥する際のマランゴニ力により、微粒子の環と環の内部に残された微粒子で作られるのが形成生成過程である。コーヒーリングに適当な角度で光をあてれば回折により様々な色が観察可能であり、 μm サイズのビーズの懸濁液を滴下して光を当ててみると宝石を散りばめたようにカラフルで美しい芸術的なコーヒーリングを観察することができる[2]。今回は、ポリスチレンビーズで形成されたコーヒーリングの回折光を結像し、ビーズサイズの違いによる回折光の色の違いを分光スペクトルとして測定したので報告する。

実験では、スライドガラス上に直径 $0.5\sim 3.0\ \mu\text{m}$ のポリスチレンビーズ懸濁液を滴下し自然乾燥してコーヒーリングを形成した。白色LEDを光源として、光源-ポリスチレンコーヒーリング-カメラの位置関係でコーヒーリングからの回折光を観測した。Fig. 2に直径 $1\ \mu\text{m}$ のポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングの回折光を示す。この図では光源は斜め下方の位置にあり、位置aからdに相当する $46\sim 52^\circ$ の光源との角度により回折光の色が青から赤に変わることがわかる。これらの光の分光スペクトルをFig. 3に示す。スペクトルの測定には分光観測キット（五藤テレスコープ）とカメラを用いた。ポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングのカメラ側の直前にナイフエッジで製作したスリットを置き、カメラのレンズの前に透過回折格子 STARANALYSER100 ($100\ \text{本/mm}$)を置いて分光を撮影し、解析ソフトウェア (RSPEC) で波長-強度分布を分析した。光源の白色LEDのピーク（約 $460\ \text{nm}$, 約 $560\ \text{nm}$ ）とポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングの回折光のピーク波長（約 $450\sim 630\ \text{nm}$ ）が観測され、回折光と光源との角度依存性が検出された。

本研究は JSPS 科研費 JP24K06352 の助成を受けたものです。

References [1] R.D. Deegan, O. Bakajin, T.F. Dupont, G. Huber, S.R. Nagel & T.A. Witten, *Nature*, **389** (1997) 827. [2] 松谷, 応用物理, **88** (2019) 305.

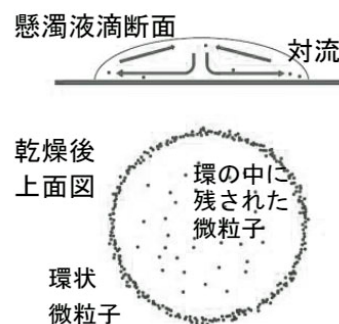


Fig. 1 コーヒーリング効果

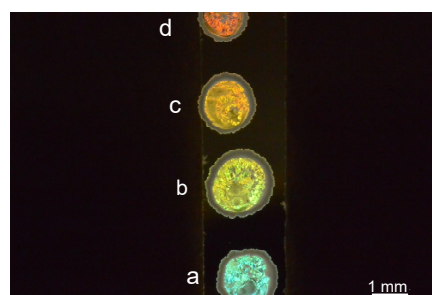


Fig. 2 直径 $1\ \mu\text{m}$ のポリスチレン微粒子を用いて形成されたコーヒーリングの回折光

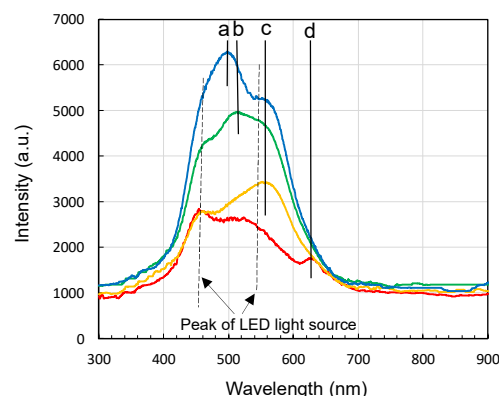


Fig. 3 直径 $1\ \mu\text{m}$ のポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングの回折光の分光スペクトル

AuCu 合金層をコートしたルチル型(100) 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 (100) rutile-TiO₂ single crystal coated by AuCu 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 40nm の金(Au)、及び AuCu 合金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、750℃の基板温度、1.3nm/min の堆積速度の条件で 60 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、(a) Au 層及び(b) Au50-Cu50at%, (c) Au30-Cu 70at%, (d) Au20-Cu80at%をプレコートした(100) TiO₂ 上では、750℃の基板温度において、 β -FeSi₂ 相の 202/220 面からの回折ピークが観察され、 β -FeSi₂ 合成が確認された。一方、(d) Au10-Cu90at%をプレコートした(100) TiO₂ 上では、TiO₂ 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。我々は、これまでに Cu 層をプレコートした Si 上では 650-800℃にて β -FeSi₂ 相が合成されることを報告している。その場合、気相成長前の加熱時に基板 Si と Cu との固層反応によって Cu₃Si 相が形成し、 β -FeSi₂ 相成長の核となることが明らかとなっている。更に金属相をコートしない(100) TiO₂ 基板上の堆積層は非晶質相である(Fig.1)ことを考え合わせると、(100) TiO₂ 上での AuCu 合金の組成依存性の結果は、 β -FeSi₂ 相の核形成に Au が寄与していることを示唆している。 【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.

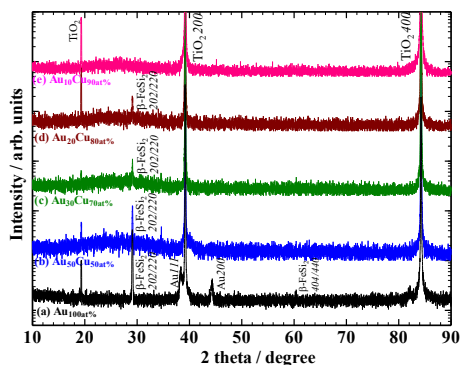


Fig. 1 X-ray diffraction θ -2 θ scan profiles of the Si-Fe deposits at 750℃ onto (100) TiO₂ substrates precoated 40-nm-thick (a) Au, (b) Au50-Cu50at%, (c) Au30-Cu 70at%, (d) Au20-Cu80at% and (e) Au10-Cu90at% alloy film.

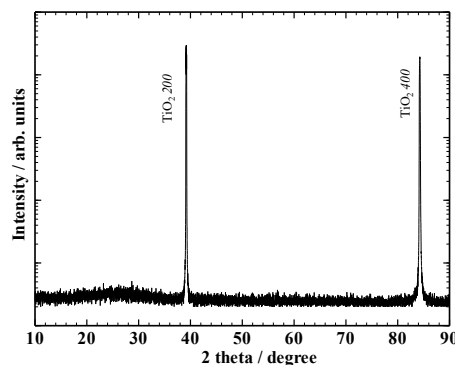


Fig. 2 X-ray diffraction θ -2 θ scan profiles of the Si-Fe deposits at 750℃ onto (100) TiO₂ substrates.

WO₃光触媒電極を用いた CO₂還元反応におけるギ酸生成の評価

Evaluation of Formic Acid Production in the CO₂ Reduction Reaction

Using a WO₃-Photocatalytic Electrode

東海大院工¹, 理系教育センター² °宮本 承海¹, 渋谷 猛久²

Graduate School of Engineering, Tokai University¹, Science Education Center²

°Tsugumi Miyamoto¹ and Takehisa Shibuya²

E-mail: 4ceim051@tokai.ac.jp

1. はじめに 近年, CO₂排出量の増加による地球温暖化問題が深刻化しており,これを解決できる技術の開発が早急に求められている. 光触媒反応をベースとした人工光合成技術は,太陽光を利用して CO₂を有用な化学物質に変換する技術として注目されている^{[1][2]}. 光触媒電極に光が当たると,光励起により電子と正孔が生じ,表面では正孔によって水を酸素に変換する酸化反応が行われる. この時に生成した水素イオンと正孔の対である電子が移動し,ここで CO₂と反応し有機物に変換される.

本報告では酸化タングステン (WO₃) 粉末から作製した光触媒電極の特性,ならびにこの電極を用いた人工光合成装置でギ酸の生成量を評価することを目的とした.

2. 実験方法 光触媒電極には窒化ガリウム (GaN) と WO₃を混合したペーストをスクリーン法で Ni 電極に塗布,焼成を行い作製した. 光照射装置を用いて濃度 3.0×10^{-4} mol/L のメチレンブルー水溶液に光触媒電極を入れ,光照射を行った. 吸光度の時間変化から光触媒の効果を評価した. 炭酸水素カリウム水溶液が入った H 型電解槽に光触媒電極と金属電極を入れ光照射を 72 時間行った. それぞれの溶液を濃縮し,核磁気共鳴(NMR)法でギ酸の生成量を測定した.

3. 実験結果 光照射開始前の吸光度をそれぞ

れ 1 とした時の吸光度の時間変化を Fig. 1 に示す. 1 時間時点で混合試料では 25%まで低下し, GaN の 79%, WO₃の 40%と比較して優れた分解性能を示した. NMR の結果を Fig. 2 に示す. ケミカルシフトスペクトルにおいてギ酸と考えられるピーク ($\delta \approx 8.4$ ppm) が確認された.

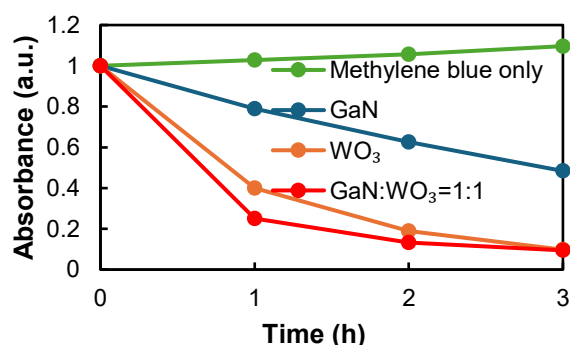


Fig. 1 Time variation of absorbance ratio.

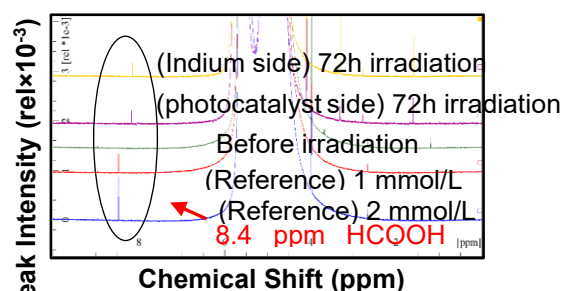


Fig. 2 Chemical shift spectra by NMR method.

Samples before and after Irradiation. Reference sample of 1 and 2 mmol/L.

参考文献

- [1] A. Fujishima et al., Nature, 238, 37 (1972).
- [2] N. Kamo, et al., 東海大学紀要工学部, 64, 1 (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)荒川創汰¹, ○(M2)柴田凜平¹, 藤崎聡美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 Kidenkaiatsu Co., Ltd³, SAGA-LS⁴,°Sota Arakawa¹, °Rimpei Shibata¹, °Satomi Fujisaki¹, Kazko Manpuku², Masaya Suzuki², YuichiKouno³, Goh Mitoya³, Akio Yoneyama⁴, Ichiro Hirosawa⁴, Noriyuki Yoshimoto¹

E-mail : g0325009@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、水分の吸脱着と材料組織の関係はいまだに明らかではない。そこで本研究では放射光 X 線を用いた X 線 CT 測定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(SAGA-LS)BL07 で行った。測定試料は実用材の HASClay グレードI(GI)とグレードII(GII)を使用した。電気炉を使用し十分に乾燥させた後、デシケータ内で放冷させたものを Dry、相対湿度 60%の室温空気で保持したものを Moist、相対湿度 100%の室温空気下で加湿したものを Saturated と定義し、測定試料を作製した。得られた HASClay の断面像と水分量の違いによる各密度領域の変化の推移を Fig.1 に示す。HASClay GI、GIIともに水分の吸脱着による高密度領域、低密度領域の体積分率はおよそ 50%から変化は見られなかった。

Fig.2 に縦軸をボクセル数の分布、横軸を 0~255 の 256 階調に分けたグレー値で表したヒストグラムを示す。この結果から、水分の吸着により、ピークが高密度側に移動していることが明らかとなった。

乾燥・加湿前後の質量変化から吸着した水分量を求めた結果、水の吸着により体積は変化しないまま質量が約 75 wt%増加することが示された。また、CT で観察された密度変化と定量的に一致していることが確かめられた。したがって、水分は低密度領域、高密度領域の両方に吸着し、今回観察された μm オーダーの材料組織には大きく影響されないことが明らかとなった。

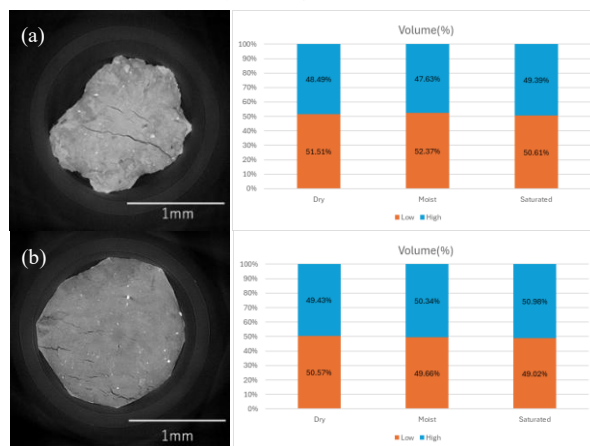


Fig.1 CT image of practical HASClay and volume fraction by density difference (a)GI Dry (b)GII Dry

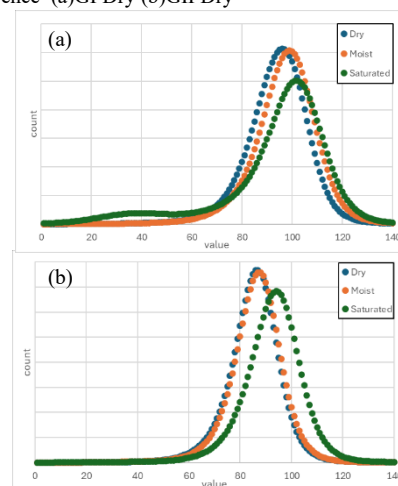


Fig.2 HASClay Histogram (a)GI (b)GII

不純物添加水酸化ニッケル薄膜の酸素発生電極応用

Utilization of Impurity-Doped Ni(OH)₂ Thin Films in Electrodes for the Oxygen Evolution Reaction

名工大工 °高野 陸斗 , 安部 功二

Nagoya Institute of Technology, °Rikuto Kono, Koji Abe

E-mail: cmj13073@ict.nitech.ac.jp

はじめに

水酸化ニッケルは、二次電池、電極触媒など、応用の幅が広い金属水酸化物である。鉄添加水酸化ニッケルは、電極触媒として高い性能を示すことが知られており、アルカリ水電解のアノード(酸素発生電極)に応用されている[1]。本研究では、鉄添加水酸化ニッケル薄膜に対し、Co や Al といった不純物を添加し、その添加割合や熱処理による結晶化が酸素発生電極としての特性に与える影響を調べた。

実験方法

FeCl₃·6H₂O、Ni(NO₃)₂·6H₂O、CoCl₂·6H₂O、Al(NO₃)₃·9H₂O 水溶液(各 10 mM)を Ni/Fe/Co=60/30/10、Ni/Fe/Al=60/30/10 となるように混合した 2 種類の水溶液を原料溶液とし、それらの原料溶液中で ITO 基板に -8 mA/cm²の定電流を 45 秒間流して、基板上に複合水酸化物薄膜を電気化学堆積した。成膜直後の試料は水分を含んでいたため、室温で 1 日以上放置して乾燥させたものを電極として用いた。酸素発生反応における過電圧は、1M の KOH 水溶液に浸した電極の電流密度が 10mA/cm²となるときの試料のポテンシャルから求めた。

結果と考察

図 1 は、サイクリックボルタンメトリー(掃引速度 12 mV/s)によって求めた過電圧をプロットしたグラフである。同じサンプルを 20 回連続して測定した。Co を添加すると、過電圧を小さくすることが出来たが、3 サイクルあたりで過電圧が大きく増加した。ITO 基板から薄膜が剥がれることが原因だと考えられる。一方、Al を添加した電極は、20 回連続で測定した場合にも過電圧が増加しにくい結果になった。Al 添加によって、特性の劣化を抑制できることが分かった。当日は、Co や Al、Fe の添加割合や熱処理による結晶化が酸素発生電極としての特性に与える影響についても発表する予定である。

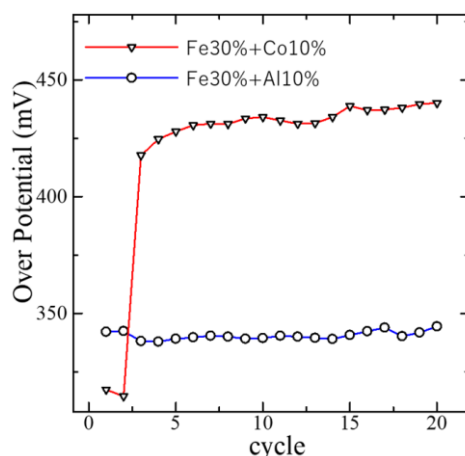


Fig. 1. Effect of impurity doping on overpotential.

参考文献

[1] Y. Chen et al., Nature Commun. **15**, 727 (2024).

Graphitic Carbon Nitride Modified Graphite Felt for Vanadium Redox Flow Battery

Yu-Xian Lee¹, Shih-Hsuan Chen¹, Wei-Hao Chiu², Ting-Han Lin², and Kun-Mu Lee^{1,2*}

¹Department of Chemical and Materials Engineering, Chang Gung University, Taiwan.

²Center for Sustainability and Energy Technologies, Chang Gung University, Taiwan.

*** Corresponding E-mail: : kmlee@mail.cgu.edu.tw**

In recent years, battery-based energy storage systems have garnered increasing attention, among which the vanadium redox flow battery (VRFB) stands out due to its promising characteristics. VRFBs offer several advantages, including long cycle life, low component cost, safety, and the use of the same vanadium species in both electrolytes, which prevents cross-contamination. Despite these benefits, the commonly used graphite felt (GF) electrodes suffer from poor electrochemical activity and limited hydrophilicity, which restricts the overall battery performance. Graphitic carbon nitride (g-C₃N₄) is a polymeric material composed of carbon and nitrogen atoms, in which each monomeric unit extends outward through covalent bonding with nitrogen atoms acting as bridging nodes. This connectivity results in a two-dimensional, infinitely extended layered structure. Although g-C₃N₄ shares a similar layered configuration with graphene, its distinct chemical composition confers unique functional properties, leading to exceptional chemical reactivity and promising potential in various applications such as photocatalysis, energy storage, and environmental remediation. In this study, g-C₃N₄ was synthesized using urea as a precursor via thermal polymerization and was subsequently used to modify the surface of graphite felt. The nitrogen-rich structure of g-C₃N₄ provides numerous active sites, thereby promoting the kinetics of redox reactions and improving overall electrochemical performance. And improving the hydrophobic nature of the GF. In single cell test at a current density of 80 mA/cm², the energy efficiency of the pristine cell was 76.05%, whereas the g-C₃N₄-modified GF achieved 84.13%, representing an 8.08% improvement. When the current density was increased to 100 mA/cm², the modified electrode exhibited an energy efficiency of 81.96%, showing a 10.15% enhancement compared to the unmodified GF. Furthermore, in the long-term stability test, the modified GF maintained an average energy efficiency of 81.04%, indicating its potential for practical application in VRFB systems.

粒径縮小および多孔質化によるシリコン粒子負極の高容量化設計

High-capacity design of silicon anodes through particle size reduction and porous structuring

東京電機大¹ ○(M2)野村 英生¹, 佐藤 慶介¹

Tokyo Denki Univ.¹, ○Hidetaka Nomura¹, Keisuke Sato¹

E-mail: 24kmj29@ms.dendai.ac.jp

1 目 的

シリコン (Si) は高い理論容量を有するリチウムイオン電池 (LIB) の負極材料として注目されている。しかし、充放電サイクル中の内部応力差により亀裂や破壊が生じ、急速な容量劣化が生じる課題がある。そこで粒径の小さな Si 粒子を用いることで、充放電時に生じる内部応力差を抑制でき、長寿命化に成功したが、高容量化との両立はできていない。そこで本研究では粒子径縮小に加えて表面を多孔質化させた Si ナノ多孔粒子 (SiNPPs) を作製し、比表面積拡大によるリチウムイオン (Li^+) の拡散性を向上させることで高容量化の実現を図った。

2 実験方法

加熱処理した産廃 Si スラッジ (SiSPs) に対して直径 5 mm、1 mm、0.65 mm の 3 種類のジルコニアビーズで粉碎する 3 段階ボールミル処理を行った。その後、洗浄した Si ナノ粒子 (SiNPs) を銀触媒の金属援用化学エッチング (MACE) 処理することで SiNPPs を作製した。SiNPPs は、導電助剤、バインダーと混合させ、銅集電体上に塗工することで負極を作製した。対極にリチウム金属箔、セパレータにポリエチレンメンブレン、電解質液にヘキサフルオロリン酸リチウム/炭酸エチレンと炭酸エチルメチル/炭酸フルオロエチレンの混合液を用い、2032 コイン型ハーフセルとして作製した。サイクリックボルタンメトリー (CV) 測定は、電気化学ワークステーションを使用して、走査速度 0.1 mV/s で測定した。抵抗値評価は、電気化学的インピーダンス分光法 (EIS) を用いて、変調電位の振幅は 10mV とし、周波数範囲は 1 MHz ~ 0.01 Hz のように測定は高周波数側から開始し、低周波数側へと掃引した。

3 結果・考察

Fig.1 に、SiNPPs を用いた負極の電気化学的挙動を示すために CV 測定結果を示した。SiNPPs を用いた負極は、 Li^+ 挿入時に 2 つの還元ピークが観察され、 Li^+ 脱離過程では 2 つの酸化ピークが確認された。そして、サイクルを重ねるごとにピーク電流が増加していることが確認された。

よって、多孔質化することで Li^+ の拡散性が良好になることが示唆された。

Fig.2 に、多孔の有無によって負極の界面抵抗特性を比較するため、SiNPs 負極と SiNPPs 負極の 1 サイクル目における EIS 測定結果を示す。SiNPPs の方が高周波数領域から低周波数領域にかけて示されている円弧部分の範囲が小さいことが読み取れる。このことは多孔質化している方が、多孔質化していない場合と比べて電荷移動抵抗が低いことを示している。したがって、多孔質化することで電極/電解質界面での電子と Li^+ の電荷移動が容易になったと示唆された。

以上の結果は、Si 粒子表面を多孔質化することで比表面積を拡大でき、 Li^+ の挿入及び脱離が容易になったことが起因していると考えられる。

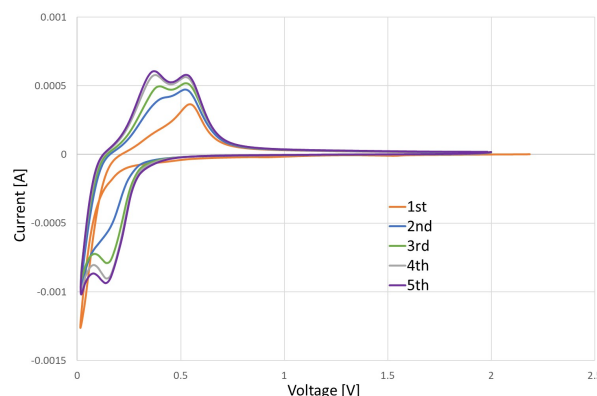


Fig.1 CV plots of the first 5 cycles measured at a scan rate of 0.1 mV/s for SiNPPs.

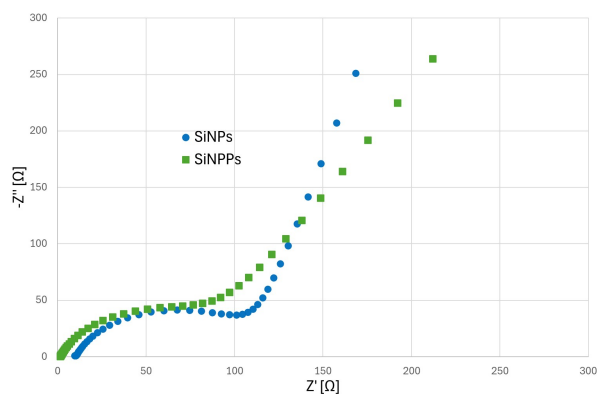


Fig.2 Nyquist plots of SiNPs and SiNPPs anodes after the 1st cycle in half cells.

空気極触媒のための Co 添加バナジン酸塩ガラスの組成最適化 Composition Optimization of Co-Containing Vanadate Glass for Air-Electrode Catalysts

近畿大¹, 環境材料研究所²

○(M2) 峯越 大輝¹, 中原 日向¹, (M2) 川久保 光¹, (M2) 林田 航輝¹, 西田 哲明², 岡 伸人¹

Kindai Univ.¹, Environmental Materials Inst.²

°H. Minegoshi¹, H. Nakahara¹, H. Kawakubo¹, K. Hayashida¹, T. Nishida², N. Oka¹

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

1. 緒言

金属-空気電池を二次電池として使用するためには、空気極上で放電時の酸素還元反応 (ORR) と充電時の酸素発生反応 (OER) を促進する二元機能空気極触媒が必要となる。我々は導電性バナジン酸塩ガラス [1] をベースとして、貴金属や希土類元素を必要としない空気極触媒材料を開発しており、中でも 5 mol% の Co_3O_4 を添加したガラスが特に優れた性能を有することを発見した [2]。本研究では更なる空気極触媒能の性能向上を目指し、一連の新規バナジン酸塩ガラス $x\text{BaO} \cdot 5\text{Co}_3\text{O}_4 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (90-x)\text{V}_2\text{O}_5$ ($x = 10 \sim 25$) を作製した。これらのガラスを熱処理して、局所構造、電気伝導度および空気極触媒能について詳細な解明を行なった。

2. 実験

原料として BaCO_3 、 Fe_2O_3 、 Co_3O_4 、 V_2O_5 の必要量をよく混合し、熔融急冷法により $x\text{BaO} \cdot 5\text{Co}_3\text{O}_4 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (90-x)\text{V}_2\text{O}_5$ ガラス ($x = 10 \sim 25$) を作製した。これらのガラスを空気極触媒とし、対極に Pt、電解質に 8M KOH 水溶液を用いた半電池を作製し、空気極の酸素還元能 (放電時) と酸素発生能 (充電時) を評価した。

3. 結果および考察

開発したガラスはいずれも酸素還元反応 (放電) および酸素発生反応 (充電) を促進する二元機能空気極触媒として使用できることが確認された。Fig. 1 に、 $x\text{BaO} \cdot 5\text{Co}_3\text{O}_4 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (90-x)\text{V}_2\text{O}_5$ ガラスを空気極触媒とする半電池の酸素還元能・酸素発生能の実験結果を示す。この図に示すように $20\text{BaO} \cdot 5\text{Co}_3\text{O}_4 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 70\text{V}_2\text{O}_5$ ガラス ($x = 20$) が最も優れた酸素発生能を有することが判明した。詳細については発表当日、報告する予定。

[1] T. Nishida, Y. Izutsu, M. Fujimura, K. Osouda, Y. Otsuka, S.

Kubuki, N. Oka, *Pure and Appl. Chem.* **89**, 419-428 (2017).

[2] 松尾紗絵子, 岡伸人他, Co^{III} 添加バナジン酸塩ガラスを空気極触媒として用いた金属-空気電池の開発, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 (2022).

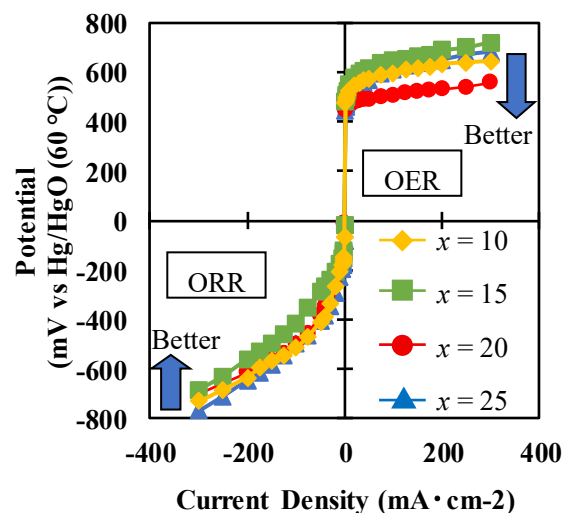


Fig. 1. ORR- and OER-performance of metal-air battery (half-cell) with as-prepared $x\text{BaO} \cdot 5\text{Co}_3\text{O}_4 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (90-x)\text{V}_2\text{O}_5$ glasses ($x = 10-25$).

Cr^{III} を添加したリンバナジン酸塩ガラスを正極活物質とする リチウムイオン電池の充放電特性

Charge-Discharge Characteristics of Lithium-Ion Batteries

Using Cr^{III}-Containing Phosphovanadate Glass as the Cathode Active Material

近畿大¹, 環境材料研究所²

○(M2)林田 航輝¹, (M2)峯越 大輝¹, (M1)金山 慶治¹, 西田 哲明², 岡 伸人¹

Kindai Univ.¹, Environmental Materials Inst.²

°Koki Hayashida¹, Hiroki Minegoshi¹, Keiji Kaneyama¹, 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 LiFePO₄ (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) 中には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、15Li₂O·10Fe₂O₃·5P₂O₅·70V₂O₅ 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 Cr^{III} を添加したリンバナジン酸塩ガラス 20Li₂O·10Fe₂O₃·5P₂O₅·xCr₂O₃·(65-x)V₂O₅ ガラス (x = 0, 3, 5) などを作製し、充放電プロフィール並びにサイクル特性について探索した。

2. 実験

20Li₂O·10Fe₂O₃·5P₂O₅·xCr₂O₃·(65-x)V₂O₅ ガラスを溶融急冷法により作製し、X 線回折 (XRD) によりアモルファスであることを確認した。これらのガラスを正極活物質として用い、これに導電助剤 (アセチレンブラック) と結着剤 (ポリテトラフルオロエチレン) を 70:25:5 (mass%) の割合で加えてよく混合し、直径 10 mm のペレットにしたものの正極とした。負極としては Li 金属を用い、充放電試験の条件は電圧範囲 1.5~3.5 V、電流密度 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 の範囲で電流密度 150 mA/g の充放電において高い放電容量 300 mAh/g が得られた。100 サイクルを経てもなお、250 mAh/g 程度の高い容量が確認された。その他のサイクル特性や X 線回折の結果についても当日、詳細に報告する予定。

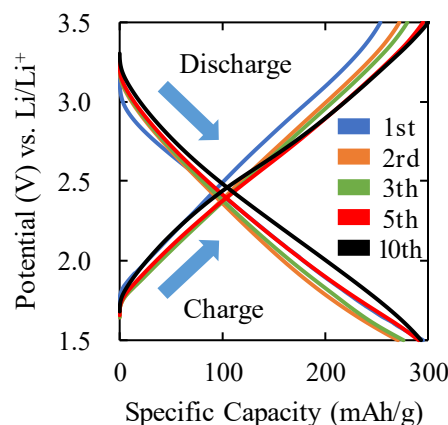


Fig. 1. Charge-discharge profiles of lithium-ion battery using 20Li₂O·10Fe₂O₃·5P₂O₅·3Cr₂O₃·62V₂O₅ glass as a cathode active material (current density: 150 mA/g).

[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.

WO₃/C₃N₅ 界面における S-スキーム電荷移動の DFT 計算解析

Density functional theory analysis of S-Scheme charge transfer at WO₃/C₃N₅ interface

慶應大・理工¹, °米山周賛¹, 伊藤皇聖¹, Paul Fons¹, 野田啓¹

Keio. Univ.¹, °Shusuke Yoneyama, Kosei Ito, Paul Fons, Kei Noda

E-mail: shusuke-yoneyama@keio.jp

【背景と目的】異種の光触媒材料を組み合わせた複合光触媒は、酸化還元能力の維持、可視光応答性の増強、電荷分離効率の向上、貴金属不使用などの多くの利点を有し、単一光触媒に関連する多くの問題を解決できるものとして注目されている。一方、その接合界面における電荷移動機構には多くの不明点が存在し、その理解は複合光触媒の性能向上において必要不可欠である。我々は、酸化タングステン (WO₃) と、ポリマー半導体の一つである窒素豊富な層状窒化炭素 (C₃N₅) の複合光触媒形成による可視光照射下での水素生成の効率化を報告し、その要因の一つとして S-スキーム型の電荷分離機構を提示した[1]。本発表では、密度汎関数理論 (DFT) を用いた WO₃/C₃N₅ 界面の構造最適化および界面形成に伴う電荷移動の理論解析を行い、S-スキーム電荷移動の可能性を理論計算の観点から調査した結果について、報告する。

【実験】pymatgen ライブラリを使用して、WO₃ の 110 面と C₃N₅ の 001 面を用いて WO₃/C₃N₅ 界面モデル (真空層、WO₃ 6 層、C₃N₅ 層より構成) を構築した。界面は、ひずみエネルギーを最小限に抑えるように選択された。C₃N₅ の構造については、Ghasemi らの研究において熱力学的に最安定な構造 S01 を採用した[2]。多数の候補界面構造の中から、2 つの候補海面がさらに計算のために選択された。WO₃/C₃N₅ 界面構築後、Vienna ab initio simulation package (Vasp) を使用して、各原子位置を緩和した。その後、WO₃/C₃N₅ 界面形成前後の電荷移動を反映する電荷密度差 (CDD) を計算し、その分布を可視化した。

【結果】CDD 計算結果 (図 1) に示すように、WO₃/C₃N₅ 界面付近において、WO₃ の酸素原子は負に、C₃N₅ の窒素原子は正にそれぞれ帯電する傾向があることが示された。WO₃ の 110 面は酸素原子で構成されており、WO₃ の酸素原子と C₃N₅ の末端基の窒素原子が近接することで、WO₃ 側の酸素原子が負に、C₃N₅ 側の窒素原子が正に帯電しやすくなるものと推測される。この結果は、界面形成に伴う C₃N₅ から WO₃ への電子移動を示すものであり、本界面での S-スキーム構築に寄与するエネルギーバンドの曲がり (内部電界) が生じることを支持する。

【参考文献】[1] 藤岡秀太他、17a-A408-3、第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (2023 年)。[2] S. Alireza Ghasemi et al., Phys. Chem. Chem. Phys., 2021, **23**, 6422.

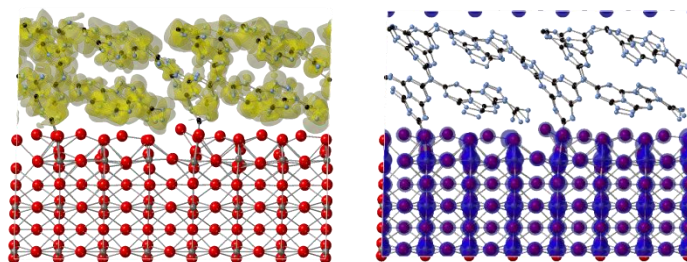


図 1. WO₃/C₃N₅ 界面の CDD 計算結果 (正電荷は黄色、負電荷は青色で表示)。

EHD と静電気による浮上・推進システムのコンピュータビジョンによるホバリング高度制御

Control of Hovering for EHD and Electrostatic Propulsion System by Computer Vision

関大システム理工¹ ○佐伯拓¹

Faculty of Engineering Science, Kansai Univ.¹, °Taku Saiki¹

E-mail: tsaiiki@kansai.u.ac.jp

1.はじめに

電気流体力学 (EHD)と静電気を用いた推進システムは、可動部分がなく電気エネルギーのみで推進するデバイスである。この推進システムは、従来の飛行機やヘリコプター等のプロペラのようし人間が聞く限りほぼ無音で動くため、将来の電気推進機として期待されている。飛行原理について、我々は高電圧印加における金属中のフェルミ液体論的電子多体運動、すなわち、電子の液体化が浮上力発生の原因と考えている。今回、要素実験の1つとして幅のあるリング型のEHD推進デバイスを試作した。EHD デバイスの空間滞空 (ホバリング) 特性を明らかにし、また、画像データに基づくコンピュータビジョンを用いた滞空高度の制御方法も提案する。

2.実験方法と結果

重力上方向の浮上と水平方向の加速運動が可能である EHD 浮上・推進デバイスの実物とデバイス構造の1例を Fig.1 に示す。Fig.2 に浮上高さの制御に CV を用いた実験装置の例を示す。浮上高さの制御において、EHD 推進デバイスのトラッキングには、CV での赤色のマーカーを用いたカラートラッキングを行った。高さ制御のため、FET を含めたテスラコイルの発振時間、すなわち出力電圧の Duty 比を時間的に制御した。インタラプタ繰り返しは 100Hz であった。直流及びパルス高電圧出力を EHD デバイスに接続し滞空特性を調べた。1 重構造と高さ方向に 2 枚重ねた 2 種類の浮上特性を解析した。推進デバイスのコンピュータ画像解析について、OpenCV ライブラリと Python のコードにより位置、速度、加速度について、画像データをもとに数値解析を行った。

Fig.3 に解析により得られたデバイスの高さ情報を示す。Duty 比を制御し ON 時間を長くすれば、高さも比例的に高く維持できることを確認した。直流高電圧とパルス高電圧を 1 重構造と高さ方向に 2 枚重ねた EHD デバイスともに印加すると、ロックがかかったように重力方向に対して垂直に水平を保ちながら上昇することが確認された[5]。一方、1 重構造では浮上後の横方向のふらつきが大きくなる問題があることを見出した。結論として、高さ方向 2 重構造の方が横の振動を抑え重力方向に水平に維持する能力が高いことを見出した。

詳細に関しては、報告にて行う。発表では、各種デバイスの浮上に関する動画を示す予定である。

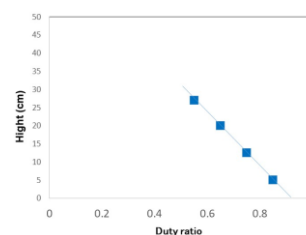
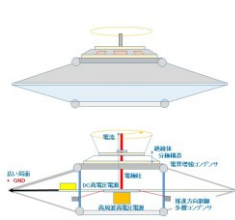


Fig.1 EHD propulsion system.

Fig.2. Height control using CV.

Fig.3. Controlled height

参考文献

- [1] T. T. Brown, "Electrokinetic Apparatus," U.S. Patent N°2949550, 1960.
- [2] L. Zhao and K. Adamiak, "Numerical analysis of forces in an electrostatic levitation unit," J. of Electrostatics, **63**, pp.729-734 (2005).
- [3] K. Masuyama and S.R.H. Barrett, Proc. of the Royal Society A - Mathematical, Physical and Engineering Sciences **469**, 20120623 (2013)
- [4] T. Saiki, "Enhanced EHD and Electrostatic Propulsion Devices Based on Polarization Effect Using Asymmetrical Metal Structure", J. of Electrical and Electronic Engineering, (2015), 3 (4), pp.76-86.
- [5] T. Saiki, "Analysis for Levitation of EHD and Electrostatic Propulsion Device in Direction of Gravity using Optical Flow Method", J. of Electrical Electronics Engineering, (2024) Vol.3(1). pp.1-12.

2基の磁気車輪を持つ磁気浮上推進バイクのコンピュータビジョン による移動速度と加速度の解析

Analysis on Moving Velocity and Acceleration using Computer Vision for Magnetic Levitation and Propulsion Bike with Two Magnetic Wheels

関大システム理工¹ ○佐伯 拓¹, 國村 尊¹, (M1) 西川寛人¹, 稲田 貢¹

Faculty of Engineering Science, Kansai Univ.¹, ○Taku Saiki¹, Takeru Kunimura¹, Norito Nishikawa¹,
Mitsuru Inada¹

E-mail: tsaiki@jsap.or.jp

1. はじめに

我々は、超伝導磁石を必要としない大きな浮上力が得られる回転永久磁石を用いた磁気浮上推進システムに関して、各種の要素技術の検討と開発を進めている。このシステムは、超電導磁石を用いない地面に非接触な移動システムで将来の交通手段として期待される。今回新たに2輪タイプの磁気浮上推進システム (MLPB)を開発した。このシステムは、機械のメカナムホイールと同様の横方向のスライド走行や前進、後進、右折、左折が可能である。この開発した2輪タイプのバイクはメカナムホイールを使った移動体と同様の動作が可能である。このシステムにおける2基の磁気車輪の相対的ねじれ量の変化による推進特性、加速度や速度の計測を行ったので今回報告する。

2. 実験方法と結果

今回、2基の磁気車輪の中央部で相対的ねじれの発生が可能なタイプの MLPB を試作した。その MLB の実物写真を Fig.1 に示す。また、Fig. 2 に 0.5m の銅板上で MLB を駆動したときの最大速度の計測結果を示す。磁気車輪の浮上に必要な回転速度は 5000rpm 程度である。磁気車輪の駆動のために小型のブラシレスモータを2個使用した。モータ回転速度の制御のため、1個のマイコン (Ardiuno nano every) を用い2個のモータを駆動した。直流電源 20V をこのシステムの駆動のために用いた。駆動に必要な電流値は 10A 未満であった。磁気車輪には、浮上力強化と浮上高さ改善のため、ハルバッハ配列されたネオジム磁石を用いた。コンピュータビジョンを用いるため Python でプログラムを組み OpenCV のオブティカル=フロー法により非接触で動画における位置、速度、加速度の解析を行い、銅板上の速度を計測した。システムを直進させる制御は従来まで困難であったが、今回直進に成功した。磁気車輪同士の相対的ねじれ角を瞬間的に変更することで前進から後進状態に切り替えることが可能である。この推進システムは、機械のメカナムホイールと同様の横方向スライド走行や前進、後進、右折、左折が可能で、すでにそれらが可能であることを実験的に確認することができた。詳細に関しては、報告により行う。

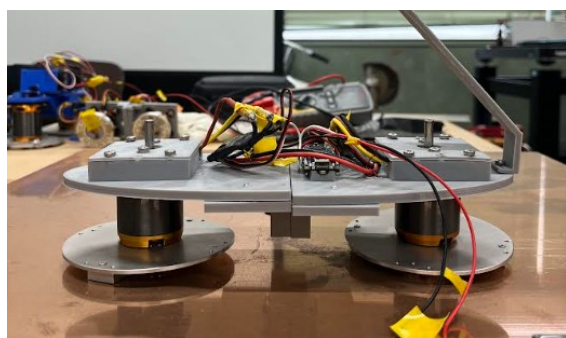


Fig.1. MLPB.

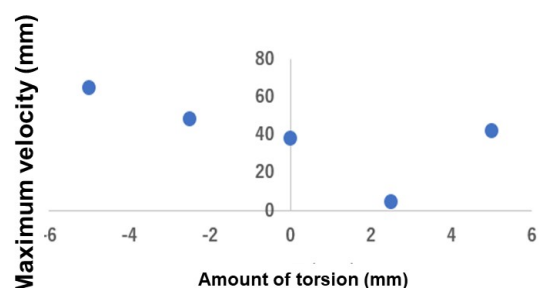


Fig.2. Maximum velocity for Amount of torsion.

参考文献

- [1] N. Fujii, K. Ogawa, T. Matsumoto, "Revolving Permanent Magnet Type Magnet Wheels", IEE Trans. Japan, Vol. 115-D, No. 3, 1995 pp.319-326.
- [2] M. Flankl, T. Wellerdieck, A. Tüysüz, J. W. Kolar, "Scaling laws for electrodynamic suspension in high-speed transportation", IET Electric Power Applications, Vol.12(3), 2018 pp. 357-364.
- [3] T. Saiki, K. Ino, M. Inada, "Optimization on Pole Pitch of Magnetic Wheels and Thickness of Metal Plate for Floating and Propulsion System using Permanent Magnets", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol.36 (18) 2022, pp.2716-2739.

磁気浮上推進システムにおけるハルバツハ配列を用いた 大型磁気車輪の開発

Development of Large Magnetic Wheel with Halbach Array for Magnetic Levitation and Propulsion System

関大システム理工 ○(M1)西川寛人、佐伯 拓、香川友紀、稲田 貢

°Norito Nishikawa¹, Taku Saiki¹, Yuuki Kagawa¹, Mitsuru Inada¹

¹ Faculty of Engineering Science, Kansai Univ. 3-3-35 Yamate, Suita, Osaka. 564-8680, Japan

E-mail: k396171@kansai-u.ac.jp

I. はじめに

現在、磁気浮上の分野では様々な研究がおこなわれている。磁気浮上のメリットとして非接触で物体を支持することが可能であることや機械的摩擦が少ないため、振動や騒音が少ないことがあげられる。磁気浮上の方式の一つである超電導方式では壁にコイルを埋め込む必要があり、超伝導体は -200°C まで冷却させる必要がある。そのほか、コイルを使う電磁誘導浮上支持方式は低速走行時に必要な浮上力を得られない。本実験では、超伝導体やコイルを使わない渦電流を用いた磁気浮上システムの開発を行っている。

これまで我々のグループでは、N-S 配列を用いた大型磁気車輪の開発を行っていたが、浮上力が目標である 10kg に到達させることができなかった。本実験では、ハルバツハ配列を用いることにより磁場を強化させることによる浮上力の強化を目的として大型磁気車輪の開発を行った。

II. 実験結果

Fig.1 にこの実験で用いたハルバツハ配列を示す(上面図)。まず、このハルバツハ配列によって磁力が強化できるのか確かめた。磁石は表面の磁力が 180mT のものを使用した。計測範囲は 0mm から 20mm の範囲で計測した。

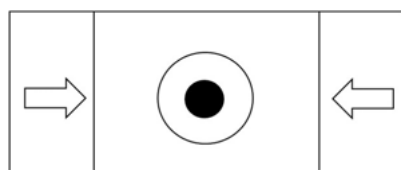
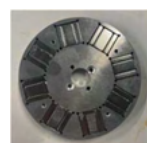


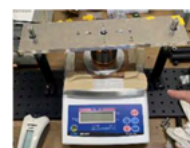
Figure 1 Halbach array (top view)

○ and → indicate the direction of the magnetic field

Fig.2 に浮上力計測装置を示す。Fig.2 の装置を使って浮上力の測定を行った。上部に取り付けてあるモーターを回転させることで銅板に渦電流を発生させている。その渦電流により発生する 2 次的な磁力で浮上する。モーターに送る電圧は ESC によって調整している。磁石の極数は 8 極である。ギャップは 0mm から 5mm の間で計測した。



(a)



(b)

Figure 2 Experimental apparatus (a) Large magnetic wheel, (b) Device for measuring levitation force.

III. 結果

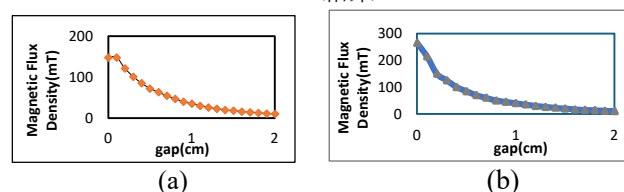


Figure 3 (a) Magnetic flux density of N-S array (b) Magnetic flux density of Halbach array

ハルバツハ配列の磁束密度を Fig.3 に示す。Fig.1 で示したハルバツハ配列は 1.4 倍磁束密度を強化できた。

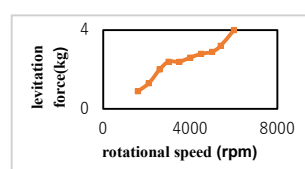


Figure 4. Levitation force (4 poles, 0 mm gap)

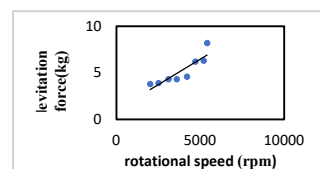


Figure 5 Levitation force (8 poles, 0 mm gap)

次にハルバツハ配列を利用した時の回転数に対する浮上力を Fig.4 と Fig.5 に示す。4 極の時、最大浮上力は 4kg となった。(回転数は 6000)。8 極の時、最大浮上力は 8.6kg となった。(回転数は 5400)。

N-S 配列を用いた場合の最大浮上力は 5.6kg であった(8 極 回転数 5300)。このことから磁石をハルバツハ配列化することによって 1.46 倍浮上力を大きくすることができた。

参考文献

[1] Kotaro Higashi, Shunsuke Ohashi, Hiroyuki Ohsaki, Eisuke Masada "Magnetic Damping of the Electrodynamics Suspension Type Superconducting Levitation System" IEEJ. Japan, 117-D(8), 1997 pp.1015-1023

鉄ナノ粒子を用いたアキシアルギャップモーターの開発

Development of axial gap motors using iron nanoparticles
関大システム理工 ○(M1)古館有人、大澤穂高、佐伯 拓、稲田 貢

°Hiroto Koyakata¹, Hodaka Osawa¹, Taku Saiki¹, Mitsuru Inada¹

¹ Faculty of Engineering Science, Kansai Univ. 3-3-35 Yamate, Suita, Osaka. 564-8680, Japan
E-mail: k009689@kansai-u.ac.jp

I. はじめに

現在、移動体や家電・産業機器の電動化が進み、モーターの高性能化のニーズが高まっている。我々は、各種アキシアルギャップモーターの開発を進めている。一般的にラジアルギャップモーターと比べ、構造上、小型・薄型が可能でかつ高トルクが得られる。また、鉄損や銅損が改善され、高効率化が可能である。今回、各種アキシアルギャップモーターのトルク特性について調べた。

II. アキシアルギャップモーター

Fig.1 は、直径 45mm のアキシアルギャップモーターを示す。このモーターはロータとステーターから構成されている。ロータには、直径 8mm、厚さ 3mm の円形ネオジム磁石が 8 個、円形に配置されている。今回、3 種類の異なるステーターを作成した。これらのステーターのコイル数は 12 で各コイルには 25 の巻線がある。Fig.2 は 3 種類の異なるステーターを示す。それぞれのコア材料は(a)軟鉄ねじ頭内側、(b)軟鉄ねじ頭外側、(c)焼成金属である。この中で透磁率は焼成金属が一番高い。

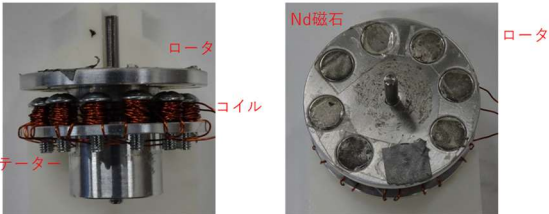


Figure 1.axial gap motor



(a) (b) (c)
Figure 2.Three different types of stators

III. トルク特性

Fig.3 にトルク測定装置を示す。3 種類の異なるステーターのアキシアルギャップモーターを計測し、回転速度とトルクについて比較した。

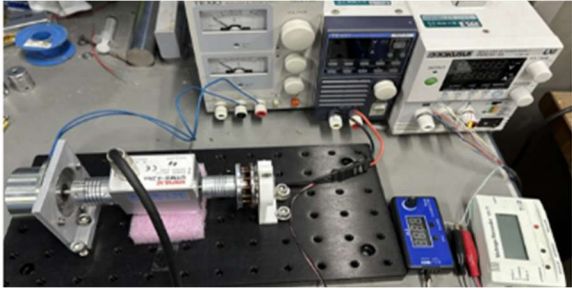


Figure 3.Torque measurement device

Fig.4 に回転速度とトルクの関係を表したグラフを示す。

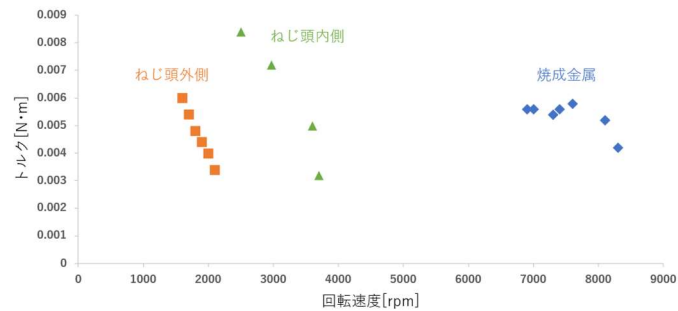


Figure 4. Relationship between rotational speed and torque

IV. 結論

それぞれトルクの最大値は、ねじ頭内側は、回転速度 2500rpm の時トルク 0.0084N・m。ねじ頭内側は、回転速度 1600rpm の時トルク 0.0060N・m。ねじ頭内側は、回転速度 7600rpm の時トルク 0.0058N・m。3 種類の異なるステーターのアキシアルギャップモーターを比較して、トルクに大きな差は得られなかったがコア材が焼成金属の時、2 倍近くの大きな回転速度が得られた。

参考文献

[1] T. Saiki, T. Matsuzaki, T. Yasuki, T. Nakaya, M. Inada, “Axial-flux Generator Using Sintered Iron Nanopolycrystalline Body”, Journal of Electronic Materials, Vol.50, pp.5995–6005, 2021.

近赤外レーザーとコンピュータ画像制御を用いた自動追尾式レーザーパワービーミングシステムの開発



Development of Power Beaming System Using Near Infrared Laser and CV for Automatic Control of Beam Direction

有間颯大¹, 佐伯拓¹

¹ Faculty of Engineering Science, Kansai Univ. 3-3-35 Yamate, Suita, Osaka. 564-8680, Japan

E-mail: k433669@kansai-u.ac.jp¹

1. Introduction

レーザーエネルギー伝送の研究が行われている。この技術は、従来の電磁誘導による技術とは異なり、システムの既存の技術やデバイスで行える。そのため、機器のワイヤレス給電の開発において実現可能性が高い重要な技術である。レーザーエネルギー伝送のメリットは、1)システムの小型化が容易であること、2)伝送効率が高くピンポイント送電が可能であること、3)長距離伝送(～km)が可能であるといった点が挙げられる。最終的には、太陽電池にレーザーを照射し、太陽電池の発電電力でLED発光させ、そのLEDをコンピュータビジョン(CV)による自動追尾で認識という一連の仕組みを移動体(車や電車など)に応用することで、エネルギー伝送を用いて動かすことが目標である。この技術が実現すれば、あらゆる移動体への光による電力供給が可能となる。エネルギー源として無限に利用できる太陽光を利用すれば環境対策にもつながると考えた。

2. Experimental



Fig.1 Laser power beaming system.

Fig.1 にレーザーを照射し、コンピュータビジョンで制御した実験装置を示す。LD 光源から照射された近赤外レーザー光(波長 910nm)がカルバノミラーを通り、90 度方向が曲げられて太陽電池に照射される。太陽電池に照射されることで発電電力が発生し、LED を光らせることができる。その LD 光のビーム方向をコンピュータビジョン(CV)で制御するという構成である。ここでは前段階として、太陽電池の発電電力で LED が発光するかを調べた。またその時のレーザーダイオードと太陽電池の両端電圧値の関係を調べた。

3. Results

レーザー光電気変換の実験結果のグラフを Fig.2、実験の様子を Fig.3 に示す。レーザーダイオードの出力パワーが 0.28W より大きい場合、太陽電池の両端電圧は 1.2V と一定になり LED も光った。したがって、安定して LED を光らせるには 0.28W 以上のレーザーダイオードが必要だと考えられる。LD 光のビーム方向を CV で制御する実験では、赤色マーカーを太陽電池の真上に配置して、1 次元的に横方向にビームを制御して追尾し、1 秒足らずで太陽電池にレーザー光を当て、LED アレイを点灯させることに成功した。

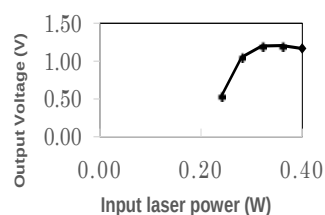


Fig.2 Voltage of solar cell for input laser power.



Fig.3. One example of tracking solar cell.

4. Conclusion

近赤外レーザー光のビーム方向をコンピュータビジョンの画像データで制御した。太陽電池を追尾しレーザー光をあてて LED を発光させることに成功した。

References

- [1] Leopold Summerer, Oisin Purcell, "Concepts for wireless energy transmission via laser", IEE Trans. Japan, 115-D(3), 1995 pp.319-326.
- [2] G. A. Landis. "Moonbase night power by laser illumination", J. of Propulsion and Power, 8, 1992.
- [3] M. Weksler and J. Shwartz. Solar-pumped solid-state lasers. IEEE Journal of Quantum Electronics, 24(6), 1988.

マイクロ波加熱による廃棄物由来粗水素生成と メタネーションへの利活用

Generation of Crude Hydrogen from Waste and Its Utilization in Methanation Using Microwave Heating

福井大工¹, 福井大遠赤セ² ○水谷 俊之¹, 影山 陽大¹, I P. Abdi Karya¹, 仲川 晃平²,
西海 豊彦¹, 浅野 貴行^{1,2}, 光藤 誠太郎^{1,2}

Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui¹, FIR, Univ. of Fukui² ○T. Mizutani¹, Y. Kageyama¹,
I P. Abdi karya¹, K. Nakagawa², T. Nishiumi¹, T. Asano^{1,2}, S. Mitudo^{1,2}
E-mail:mf251068@g.u-fukui.ac.jp

メタネーションとは、二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二酸化炭素を再びメタンの合成に利用することによって、実質的な二酸化炭素排出量をゼロにするガスのカーボンニュートラルへの貢献が期待されている^[1]。しかし、装置の導入コストや水素の貯蔵、運搬が課題として挙げられている。

また、固形廃棄物の増加やリサイクル方法が世界的な環境問題とされており、2030年の持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals; SDGs)の達成に向けて喫緊の課題である。特に、廃プラスチックの増加はプラスチックの耐久性が高く、自然分解が困難なことから海洋への放出による生態系の破壊が危惧されている。

当研究グループは、廃プラスチックにマイクロ波を照射することによって効率的に熱分解し、粗水素とカーボンナノチューブが生成できることを報告した^[2]。この粗水素には副生ガスとして一酸化炭素が多く含まれているため、純水素化による水素製造ではなく、粗水素のままメタネーションへ利活用することにより、先に挙げた2つの課題を同時に解決できると考えた。そこで、マイクロ波加熱により生成したセルロース由来粗水素を、マントルヒーター(外部加熱)により加熱したメタン化ニッケル触媒に流入させることによって、メタネーションが可能であることを報告した^[3]。

本講演では、セルロース由来粗水素を利活用し、各種メタン化触媒の外部加熱によるメタネーションの比較検討とマイクロ波加熱によるメタネーションの試みについて報告する予定である。

[1] X. Jie *et al.*, Nat. Catal., **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).

[3] 影山ら,第85回応用物理学会秋季学術講演会 16p-P07-27 (2024).

Ni 担持炭酸塩からの CH₄ 生成反応

Investigation of CH₄ Formation Reaction from Carbonates Decollated With Ni

東海大院総理工¹, 東海大院工², 東海大 MNTC³ ○(D) 吉田有章^{1,2,3}, 岡本陽佑², 源馬龍太^{1,2,3}

Tokai Univ. Grad. School of Sci and Tech.¹, Tokai Univ. Grad. School of Eng.², Tokai Univ. MNTC³,

Tomoaki Yoshida^{1,2,3}, Yosuke Okamoto², Ryota Gemma^{1,2,3}

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

Introduction

近年進行する地球温暖化の主な原因物質は二酸化炭素(CO₂)とされている。そこで、水素燃料が注目されているが、利用の拡大には時間を要している。そこで、カーボンリサイクル技術の一つであるカルシウムルーピングプロセス(CaL)が注目されており、都市ガス設備の利用を念頭に水素を供給することにより CaL における CaCO₃ の熱分解過程の低温化およびメタン(CH₄)生成によるカーボンリサイクルが期待されている。先行研究において、Ni を担持した CaCO₃ 粉末を水素雰囲気で加熱することにより CH₄ の生成が確認されているが、その反応過程については不明な点が多い。

そこで、本研究では、Ni 担持 CaCO₃ の水素加熱による CH₄ 生成についてその反応過程に着目した調査を行った。

Experimental

Ni/CaCO₃ 複合粉末の調製は含浸法を用いて行った。また、CaCO₃(100)基板上に Ni を島状成長させた試料を DC マグネトロンスパッタ装置を用いて作製した。用意した試料をそれぞれ水素雰囲気中で加熱し、CH₄ の生成を確認し、加熱前後及び加熱中の試料分析を SEM, AFM,

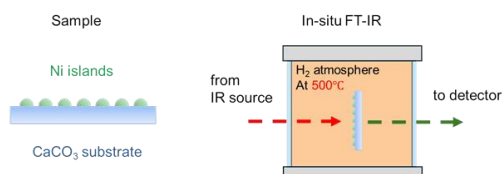


Fig.1 Schematic diagram of the in-situ FT-IR

In-situ FT-IR, XRD, XPS 等を用いて行った。

Results and Discussion

図 2 に AFM を用いて観察を行った実験前後の CaCO₃ 基板試料の表面形状を示す。実験前後で表面形状が荒くなり不規則な形状を形成していることが確認された。これは CaCO₃ 基板表面の Ni から供給される原子状水素の影響により、CaCO₃ 単結晶基板が CaO へと変化する際の体積減少に加え、表面に存在する島状 Ni の凝集により生じたものと考えられる。

その他の結果については、当日に議論を行う。

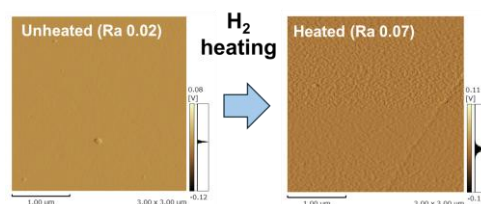


Fig.2 Surface topography measured by AFM before and after the experiment.

References

1. A.M. Valverde, and S. Medina, Phys. Chem. Chem. Phys. 19, 7587 (2017).
2. T. Hayashi, K. Sawahara, R. Gemma, J. Adv. Sci. 34, 34103 (2022) (in Japanese).
3. T. Zhang et al., Appl. Catal. B, vol. 312, 121385 (2022).

Acknowledgements

関東冶金工業株式会社および平塚市産学共同研究事業化支援補助金ならびに JSPS 科研費 (JP24K08249) からのご支援に感謝を申し上げます。

水素雰囲気中における Pd 担持 CaCO_3 (100) 単結晶基板からのメタン生成

Methane generation from Pd-supported CaCO_3 (100) single crystal substrate in hydrogen atmosphere

東海大院工¹, 東海大院総理工², 東海大 MNTC³, °佐藤 蓮¹, 吉田 有章^{2,3}, 源馬 龍太^{1,2,3}

Grad. School of Eng. Tokai Univ.¹, Grad. School of Sci. and Tech. Tokai Univ.²,

MNTC Tokai Univ.³, °Ren Sato¹, Tomoaki Yoshida^{2,3}, Ryota Gemma^{1,2,3}

E-mail: 4CAJM029@tokai.ac.jp

1. 緒言

近年、化石燃料の大量消費による CO_2 濃度の上昇に伴う地球温暖化への懸念が高まっている中、炭素リサイクル技術の開発促進が求められている。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、炭素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 粉末に Ni を担持した試料に H_2 ガスを流すことでメタンが発生したことが確認されている¹。この結果から、 CaCO_3 内部の炭素がメタン生成に供給されている可能性が示唆されている。そこで本研究では、薄膜作製法により CaCO_3 基板に Pd を担持させることで人工的に触媒金属/炭酸化物界面を形成し、この界面における H_2 ガス存在下での CO_2 のメタン化に伴う CaCO_3 の脱炭酸および体積減少について調査することとした。

2. 実験方法

本研究では、 CaCO_3 (100)単結晶基板上の一部に DC マグネトロンスパッタリングによって Pd、Ni を成膜することで、金属/基板界面をもつ試料を作製した。スパッタマスクを用いて、ストライプ状に成膜することで複数の界面を形成した。触針式膜厚計および SEM を用いて界面近傍の形状測定・観察をおこなった。また、TG-MS を用いて $\text{Ar}+\text{H}_2$ 雰囲気にて熱重量分析とガス分析を同時に行い、基板試料からのメタン生成について調査した。

3. 実験結果

図 1 に Ni を成膜した基板試料の TG 測定結果を示す。 CaCO_3 の熱分解温度(600~800°C)よりも低い温度で重量減少が確認できた。図 2 に同時に測定した QMS 測定結果を示す。重量減少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。また、 CO_2^+ のイオン電流値の増加も確認されなかったことから、熱分解はしておらず、メタン生成時に基板中から炭素が供給されたことで重量減少したと考えられる。

4. 参考文献

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

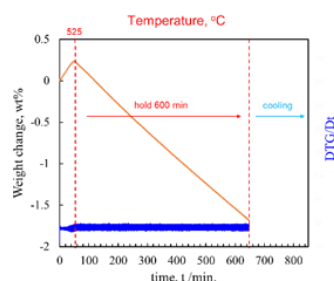


図 1 Ni/ CaCO_3 基板 TG 測定結果

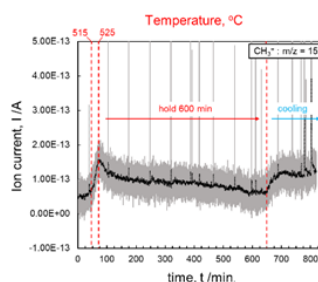


図 2 Ni/ CaCO_3 基板 QMS 測定結果

ZrO₂ 容器中における Al(OH)₃ の大気中ミリング処理による CH₄ 生成

CH₄ generation by mechanical milling of Al(OH)₃ with air in ZrO₂ vial

東海大院工¹, 東海大院総理工², 東海大 MNTC³, °寺林 佑馬¹, 吉田 有章^{2,3},

矢倉 享佑¹, 源馬 龍太^{1,2,3},

Grad. School of Eng. Tokai Univ.¹, Grad. School of Sci. and Tech. Tokai Univ.²,

MNTC Tokai Univ.³, °Yuma Terabayashi¹, Tomoaki Yoshida^{2,3},

Kyosuke Shishikura¹, Ryota Gemma^{1,2,3}

E-mail: 5cajm054@tokai.ac.jp

1. 緒言

化石燃料の使用による大気中の二酸化炭素濃度の増加は、地球温暖化の要因とされており、早期の改善が求められている。実現可能な対策の一つとして、既存インフラの活用が可能なメタネーションが注目されている。

先行研究^[1]において、大気雰囲気下で Al(OH)₃ 粉末を ZrO₂ 容器でボールミリング (BM) した際にメタンの生成が確認されており、試料由来の Al 酸化物と摩耗粉由来の Zr 酸化物の混合粉末がメタン生成に寄与していることが示唆された。

そこで、本研究では ZrO₂ 容器を用いた Al(OH)₃ の BM により混合粉末試料を意図的に作製し、得られた試料を用いて同様な実験を行うことにより、メタン生成への影響を調査することを目的とした。

2. 実験方法

ZrO₂ 容器の中に Al(OH)₃ 粉末 0.25 g を封入し、300 rpm にて遊星ボールミルによる BM を 4 時間行い、試料粉末を得た。その後、BM 容器中の気体についてガスクロマトグラフィー (GC) による分析を行い、試料粉末については XRD、XPS、FT-IR、SEM により評価した。比較のため、容器、雰囲気 (大気、H₂+CO₂ 混合雰囲気)、試料 (Al(OH)₃、大気雰囲気 BM 後の試料) を変

えた実験も行いメタン生成量を比較した。

3. 実験結果

Fig. 1 に GC 分析結果を示す。先行研究^[1]と同様にメタンの生成が確認された。水素と二酸化炭素の混合雰囲気下で BM を行った結果と比較して、大気雰囲気下で BM を行った場合に、約 10 倍の量のメタンが生成された。

Fig. 2 に XRD 測定結果を示す。BM 後の試料では、Al(OH)₃ のピークは確認されず、Al_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 相由来のピークが確認された。また、メタン生成量の多い実験条件では、Al_{0.5}Zr_{0.5}O₂ のピーク強度が高い結果となり、Al_{0.5}Zr_{0.5}O₂ 相の結晶性の影響が示唆された。他の結果は当日に発表する。

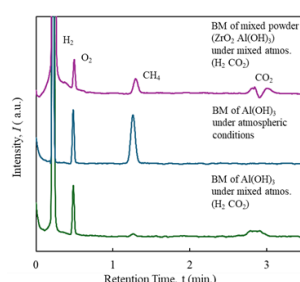


Fig. 1 GC results at BM under different conditions

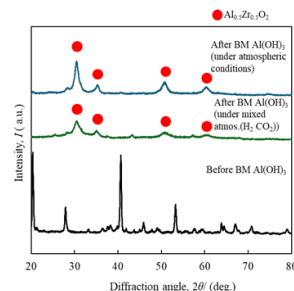


Fig. 2 XRD results after different atmospheres BM

4. 参考文献

[1] 矢倉 享佑、東海大大学院 修士論文(2024)

謝辞

本研究を行うにあたり、関東冶金工業株式会社および平塚市産学共同研究事業化支援補助金からのご支援に、感謝を申し上げます。

Explainable AI for utility-scale solar PV Site Selection: random forest-SHAP Analysis of land suitability factors for ground-mounted solar installations in Japan

Nagoya University, ○Sangay Gyeltshen

E-mail: gyeltshen.sangay.i8@s.mail.nagoya-u.ac.jp

Japan's carbon neutrality commitment by 2050 requires significant renewable energy expansion, particularly utility-scale solar photovoltaic (PV) installations. However, Japan's complex topography, limited land availability, and high population density create unique challenges for optimal solar farm site selection. This study proposes an explainable artificial intelligence framework combining Random Forest (RF) modeling with SHapley Additive exPlanations (SHAP) analysis to identify and prioritize suitable locations for ground-mounted solar PV installations across Japan.

The methodology integrates multiple geospatial datasets encompassing resource factors, environmental variables, anthropogenic elements, orographic characteristics, and climatic parameters. Critically, the framework incorporates policy-related restriction layers ensuring regulatory compliance and avoiding development conflicts, including protected zones, hazard-prone areas, and legally restricted territories under Japanese environmental and land use regulations.

The model's decision-making process becomes transparent through SHAP analysis, providing global feature importance rankings across Japan and local explanations for regional variations. Global SHAP analysis identifies the most influential factors for national-scale solar PV site selection, while local SHAP values explain regional variations and site-specific decisions, accounting for Japan's diverse geographical and climatic conditions. This explainable AI approach addresses the critical need for transparent decision-making tools in renewable energy planning. Results are expected to provide actionable insights for policymakers, energy planners, and investors, facilitating evidence-based decision-making for Japan's solar energy expansion.

Keywords: Solar photovoltaic, site suitability, explainable AI, Random Forest, SHAP, renewable energy planning, Japan

燃料電池および水素生成用 SnO₂ 被膜 SUS セパレータの電気特性評価

Electrical evaluation of SnO₂ coated SUS separators for the application of fuel cells and hydrogen generation

立命館大理工¹, 立命館大総研², アイテック㈱³, 岩崎電気㈱⁴, 立命館大半導体応用研究センター⁵

○萩原 宣顕¹, 高橋 勲², 田中 孝³, 松尾 浩一⁴, 金子 健太郎^{2,5}

Col. of Sci. & Eng. Ritsumeikan Univ.¹, ROST, Ritsumeikan Univ.²,

Eyetecc Co., Ltd³., Iwasaki electric Co., Ltd⁴, RISA⁵

○N. Hagiwara¹, I. Takahashi², T. Tanaka³, K. Matsuo⁴, K. Kaneko^{2,5}

E-mail: re0175ep@ed.ritsumei.ac.jp

新しいエネルギー移動体として注目されている燃料電池および水素利用において、セパレータと呼ばれる集電部材の役割は非常に大きい。燃料電池においてセパレータは全体のコストの 30%、重量では 70%程を占める影響の大きな部材である[1]。現在は薬品耐性の高い Ti が基材として利用されているが、コスト低減のために安価な SUS 部材への代替が期待されている。しかしながら、イオン交換膜に含まれる硫酸基の影響で強酸雰囲気中に晒されるため、高い耐腐食性と集電部材としての導電性の両立が求められる。さらに、大きなコスト割合を占めるため低コストを兼ね備えた材料を SUS 表面にコーティングする必要がある。当グループでは、SnO₂ 膜をその候補材料とし、ミスト CVD 法による成膜条件の最適化により薬品耐性と導電性の向上を研究している[2]。本研究では、SnO₂ 膜の導電性向上のため、Sb のドーパ量や、成膜条件や前駆体の時間変化が膜の電気特性に与える影響について評価を行った。ミスト CVD 法で用いる原料溶液は純水と体積比 20%の HCl を添加した溶液に SnCl₂ と SbCl₃ 粉末を溶かしたものを利用した。Sb のドーパ量は Sn に対しモル比で 10%とした。基板温度を 350℃から 400℃まで 25℃間隔で変化させ 20min 成膜を行った。電気的特性は Hall 効果測定装置を用いてシート抵抗や電子移動度を測定した。

図 1 は、原料溶液作製後の経過時間とシート抵抗値の変化を示したものである。Sn イオンは強酸水溶液中では二価が安定となるが、時間変化とともに変化する。そこで、原料溶液を作製した日から 2 日後、8 日後に同条件で成膜を行い、電気特性を測定した。その結果、原料溶液作製から時間が経つほどシート抵抗の値が下がることが分かった。これは成膜温度が 375℃、400℃においても同じ傾向であり、水溶液中の Sn の化学状態が変化していることを示唆している。発表では水溶液の化学分析結果等の報告を行う。

[1]T. Sato, Kobe Steel Engineering Report, Vol.71, No.2, pp706 (2022),

[2]服部他、材料 第 73 巻 4 号 pp. 356-363 (2024)

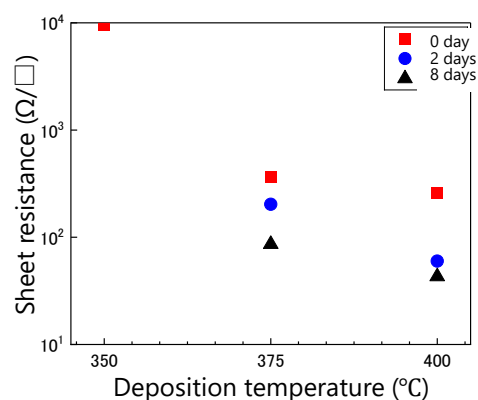


Fig.1 A relationship between deposition temperature and sheet resistance of SnO₂ thin films using various precursor sources with different elapsed time after preparing.

極低温流体のマイクロ波 CT 診断

Microwave CT diagnostics of cryogenic fluids

(B4) 高橋銀慈、山口聡一郎 (関西大)

(B4) Ginji Takahashi、Soichiro Yamaguchi (Kansai univ.)

(E-mail) K931770@kansai-u.ac.jp

断熱容器内の極低温流体に向けて周波数 10GHz のマイクロ波を照射して極低温流体のコンピュータ断層撮影(CT)を行った。マイクロ波は人体被曝のリスクがなく、照射電力も 10 mW 程度と小さいので安全性に優れる。貯蔵タンクや輸送管内で極低温流体の気液境界を測定する際、熱流入による蒸発損失を極力抑える必要がある。無極性または弱極性分子の極低温流体はマイクロ波帯の誘電損失が小さい傾向にあり、熱の発生が少ないので極低温流体の計測に適している。また、液体水素や液体窒素などの極低温流体は誘電率が低いので、周囲の空気層や断熱容器との誘電率差が小さくなるように装置条件を選ぶと、極低温流体の気液境界や容器表面でもマイクロ波がほぼ直線的伝播するという近似を利用して CT 画像の再構成に要する計算処理や計算時間を大きく減らせる場合がある。図 1 はマイクロ波 CT システムの回路図である。8 ~ 12 GHz 帯の固定周波数、電力 10 mW で連続波照射し、局部発振器による中間周波数 110 MHz で受信波の振幅と位相を測定する。2 軸の自動回転ステージを遠隔制御することで、断熱容器の周囲でマイクロ波の送信角度と受信角度をそれぞれ掃引する。CT 画像の再構成は、医用 X 線 CT と同様に物体を透過した際の減衰量から線吸収係数分布を計算し、統計学的な理論に基づいた逐次近似法である最尤推定-期待値最大化法 (ML-EM 法) で画像の高精度化を図った。また、物体による散乱マイクロ波の逆伝播を計算する単純逆投影法も併用した。図 2 は前者の手法に従って線吸収係数を輝度値として表示した液体窒素の CT 画像である。断熱容器内で楕円形断面の液体窒素の様子が捉えられた。液体窒素の他にも、液体水素や液体ヘリウム等の極低温流体の場合でもマイクロ波 CT を用いて同様に撮像可能であると推察される。

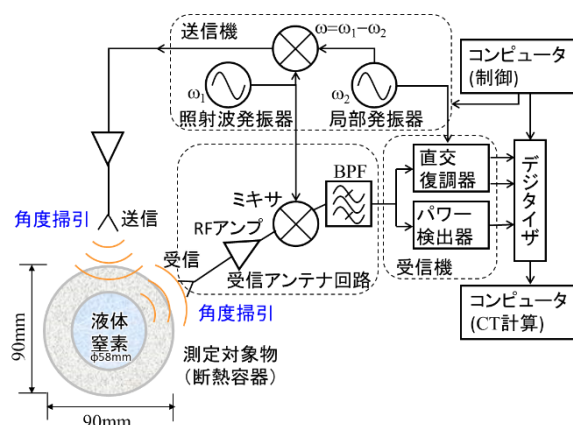


Fig.1 Microwave CT System

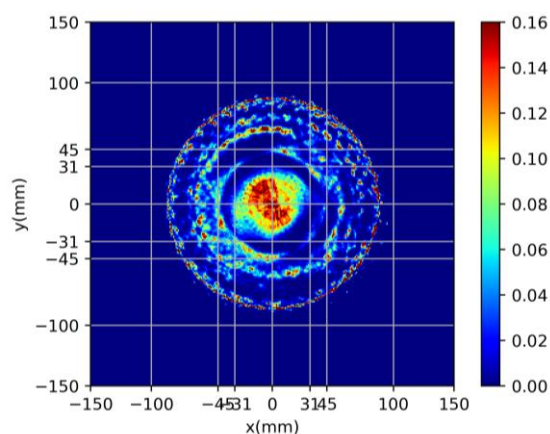


Fig.2 CT image of liquid nitrogen

移動センサノードに電力供給するエネルギーハーベスティング

Energy Harvesting as Power Supplying for Mobile Sensor Nodes

近畿大学工業高等専門学校 吉川 隆

Kindai Univ. Technical College, Takashi Yoshikawa

E-mail: yoshikawa@ktc.ac.jp

1. 概要

コロナが流行して以後、住環境における空気や温度などの環境に対する関心が高まっている。我々は以前、宅内での消費電力をモニタすべく HEMS を安価に実現するための方式を検討し提案してきた。HEMS を行うにあたって、設置や位置変更が容易な無線端末を用いた方式を提案している[1]。その中に於いて、キーとなるのは小型無線端末への電源確保の問題であった。電源確保のためにコンセントを用いたのでは、部屋中がケーブルだらけになってしまう。そこで、センサを搭載した無線端末（センサノード）の稼働をケーブルレスにて実現する方式について検討を行った。第一の方式は、バッテリーを用いる方式であるが、数か月毎に電池交換が必要となる。第二の手段は無線電力伝送であり、センサノードに対してワイヤレス給電を行う方式の検討を行った。そこで、エネルギーハーベスティングを用いて、小型無線端末の稼働をエンドレスで可能とするエネルギーマネジメントについて検討を行ってきた。アプリケーションを HEMS に限定して考え、センサノードを間欠動作で動作させる事を前提とすると、必要な発電電は $100\mu\text{W}$ 程度であると見積もった。

2. 移動系のエネルギーハーベスティング

今回、我々は屋内環境において、人の周りの環境をモニタリングするアプリケーションの検討を行うに至った。その理由は、近年、ポストコロナに突入し、人々が自分たちの住んでいる周りの環境に対して注意を払うようになってきたことにある。そこで、人が帯同するセンサに対して電力を供給する必要性が生じてきた。この課題を解決すべくエネルギーハーベスティングとして我々が検討を行っている方式は3つある。1つ目は人の体温と環境温度の温度差による温度差発電である。2つ目は人の歩行による振動を用いた発電方式である。3つ目は室内光発電であり、蛍光灯や LED 光による発電がある。温度差発電では、人体のモーションモードに合わせた発電能力の違い、振動発電では人の活動による発電能力の違い、室内光による発電では光源による発電電力の違い等が挙げられる。これらのライフスタイルに依存するエネルギーリソースを定量化する事で、環境モニタのためのセンサを搭載したセンシングノードを稼働するエネルギーハーベスティング方式の検討を行った。それらの詳細について報告する。

参考文献

- [1] Takashi Yoshikawa, Shota Saraya, "HEMS Assisted by a Sensor Network Having an Efficient Wireless Power Supply", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.49, Issue 3, PP.974-977, 2012.

ローレンツ体積力を利用した海水・油分離装置内の仕切板の最適形状

The relationship between separating plate shape and separation efficiency in a seawater-oil separator using Lorentz body forces

神戸大海事 ○アモリン ケンジ, 白石 浩貴, 秋田 有輝, 浅野 晃平, 岩本 雄二, 赤澤 輝彦

Kobe Univ. ○Kenji Amorim, Koki Shiraishi, Yuki Akita, Kohei Asano, Yuji Iwamoto,

Teruhiko Akazawa

E-mail: 248w502w@stu.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

ローレンツ体積力を利用した海水・油分離装置の原理を簡単に説明する. 対向する電極板をもつダクト (Fig.1) には, 油で汚染された海水が流れている. この海水に, ダクト入口から出口に向けた磁場 H を印加し, 電極板より通電を行うと, 海水にはローレンツ体積力 F_L が働く. 一方, 油は不導体であるため F_L は働かず, F_L を受けるまわりの海水から反作用を受ける. つまり, 海水が受ける F_L と逆方向の力を油は受ける. 電極板より下流部に仕切板を設けることで, 油が濃縮された海水の流れ(A)と, 浄化され油濃度が下がった海水の流れ(B)に分けられる. 本研究では, この仕切板が分離性能に寄与する効果を, 数値計算実験および分離実験により調べた.

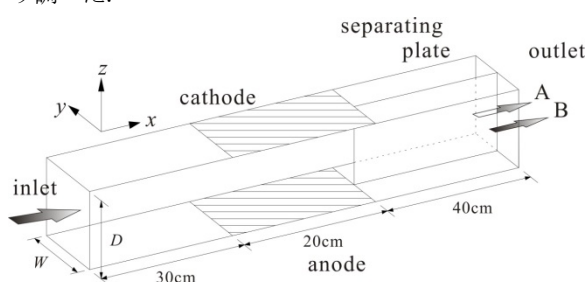


Fig.1. Schematic diagram of the oil-seawater separator.

2. 数値計算モデル

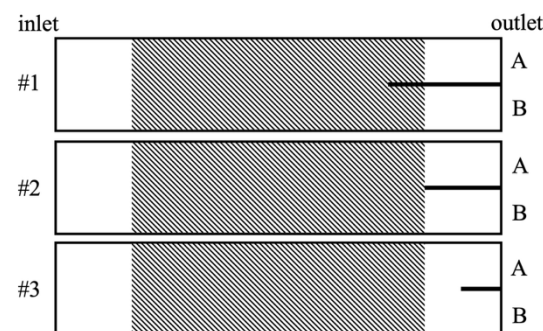
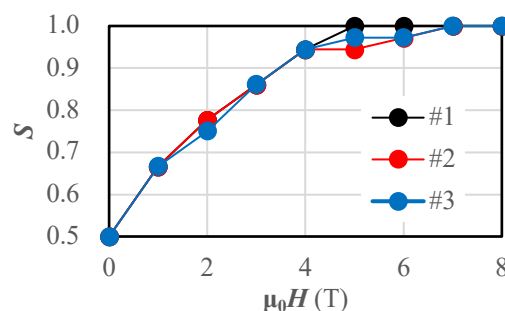
本研究の数値計算で想定した分離装置は, 全長 900mm で, 電極間距離 $D=28\text{mm}$, 電極幅 $W=28\text{mm}$ の正方形流路断面をもつダクトからなる (Fig.1). ダクトの中央には, 対向する 1 組の電極板 (長さ 200mm) が取り付けられている. 海水に通電が行われる分離空間下流側の流路は, 流路断面を 2 等分するように, x - z 面に平行な仕切り板 (厚さ 1mm) が設置されている. Fig.2 に示すように, 仕切板の設置位置が異なる 3 種類の分離器を用意した. 分離器#1 は分離空間に 25mm 仕切板の開始位置が入っている. #2 は分離空間直後に仕切板開始点がある. #3 は分離空間から 25mm 後方に仕切り板開始点がある.

計算では, ダクト入り口から流入する海水の初期流速は $u_0=0.1\text{m/s}$ で一様と仮定し, 電極間を流れる電流の大きさを 1A とした. 海水の運動については, F_L を考慮したナビエ・ストークス方程式を用いた. 分離率の評価には, 半径 $a=0.1\text{mm}$ の球状の

絶縁体粒子 (模擬粒子) が海水に混入しており, 粒子は海水からストークス抵抗を受けると仮定した. 以上の方程式を連立し, 有限要素法 (COMSOL Multiphysics) を用いて数値的に解いた.

3. 結果

出口 A 側 (汚水側) と出口 B 側 (浄化水側) から排出される模擬粒子の個数をそれぞれ N_A , N_B とする. 分離率 $S=N_A/(N_A+N_B)$ の磁場依存性を Fig.3 に示す. 磁場増大とともに分離空間の海水に作用する F_L は増大する. 仕切板の開始位置に寄らず, 約 4 T まで F_L の増大とともに分離率は急激に上昇する. 仕切板開始位置が最も上流側にある #1 は磁場 5 T で分離率が 1 となるが, #2, #3 は仕切板開始点が下流になるほど分離率が小さくなるのがわかる. ただし, #2, #3 も 7 T 以上の高磁場では分離率が 1 となっている. 以上のことは, 海水に作用する F_L に起因した, 分離空間出口付近に生じる渦の形成を仕切板により制御できることを示唆している. 本学術講演会では, 分離実験の結果もあわせて詳細を報告する予定である.

Fig.2. A view of separators (#1, #2, #3) in the xy plane.Fig.3. H dependence of S .

マイクロ波加熱による高密度ポリエチレンの繰り返し分解 における生成物の評価

Evaluation of Products in Repeated Decomposition of High-Density Polyethylene 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, 水谷 俊之²,
藤井 雅勝², 西海 豊彦², 西村 文宏³, 浅野 貴行^{1,2}, 光藤 誠太郎^{1,2}

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

◦Kohei Nakagawa¹, I Putu Abdi Karya², Toshiyuki Mizutani², Masakatsu Fujii²,

Toyohiko Nishiumi², Fumihiko Nishimura³, Takayuki Asano^{1,2}, Seitaro Mitsudo^{1,2}

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

化石燃料由来のプラスチックは、その優れた特性から世界中で広く利用されている一方で、マイクロプラスチックなどの深刻な環境問題の原因にもなっている。近年、循環型社会の構築に向けた取り組みが進む中、単なる分解処理にとどまらず、より高付加価値な物質へと転換する技術が求められている。これらの先行研究として、プラスチックにマイクロ波活性触媒を混合し、マイクロ波を照射することで、水素ガスおよびカーボンナノチューブ (CNT) を生成する手法が報告されている[1]。我々はこの手法が、炭素と水素から成る構造が単純な高密度ポリエチレン (HDPE) だけでなく、他種のプラスチックや、バイオマスの主成分であるセルロースなど様々な材料にも適用可能であり、いずれの場合も高付加価値材料への変換が実現されることを見出した[2, 3]。これらの技術の社会実装にあたっては、繰り返し分解を行った際に生成物がどのように変化するかについて、十分に検討し、知見を得る必要がある。

そこで本研究では、最初に HDPE とマイクロ波活性触媒を混合し、マイクロ波加熱による分解を繰り返し行った場合に得られた分解ガスおよび残渣の評価を実施した。得られた分解ガスはガスクロマトグラフィ(GC)測定によってガス組成の同定を行い、残渣については熱重量分析(TG)、顕微ラマン測定、粉末 X 線回折(XRD)、走査型電子顕微鏡(SEM)などで測定し、どのような生成物が得られているか検討した。最終的に、HDPE 投入量に対する各生成物の割合が、分解の繰り返しによりどのように変化するかを見積もった。

当日の講演では、各生成物の繰り返し分解時の挙動から、マイクロ波活性触媒反応がどのように変化したかについて報告する。さらに、セルロースにおける分解挙動との比較検討も試みたい。

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

[2] I P. Abdi Karya ら 第 72 回応用物理学会春季学術講演会 14a-K209-8 (2025).

[3] 仲川ら 第 72 回応用物理学会春季学術講演会 14p-P07-51 (2025).

リグニンのマイクロ波分解による水素および炭素材料への変換

Microwave-assisted Decomposition of Lignin into Hydrogen and Carbon MaterialI P. Abdi Karya¹, T. Mizutani¹, K. Nakagawa², F. Nishimura³, T. Nishiumi¹,T. Asano^{1,2}, and S. Mitsudo^{1,2}Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui¹, FIR, Univ. of Fukui², HISAC, Univ. of Fukui³E-mail: ipd23801@g.u-fukui.ac.jp

Biomass waste, which accounts for more than 60% of global waste, is a potential source of renewable fuels for addressing global warming and carbon emissions. Biomass is comprised of three main components: cellulose, hemicellulose, and lignin¹. Unlike cellulose, which can easily biodegrade, lignin is resistant to biological degradation, making it more suitable for degradation through thermochemical processes such as pyrolysis or gasification. Pyrolysis or gasification is usually performed using conventional heating, which requires high temperatures and expensive materials that can withstand high temperatures, such as stainless steel, which is economically inefficient. Microwave-assisted heating has been widely used to provide more efficient and environment-friendly heating during gasification and pyrolysis. Previous studies have demonstrated microwave-assisted decomposition techniques for the decomposition of cellulose into hydrogen (H₂) and carbon nanotubes in a one-step process². However, the lignin production process needs to be studied further.

This study explored the use of microwaves as a catalytic reaction trigger in the lignin deconstruction process, which produces H₂ and carbon materials as the main products. In this study, an iron-based catalyst was used to absorb microwave energy to aid lignin degradation. The reaction temperature was varied to determine the optimal temperature at which H₂ production was significant. The composition of the produced gas was analyzed using Gas Chromatography (GC), whereas characterization of the solid residue material was performed using X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Raman spectroscopy to confirm the structure and properties of the material formed.

This research is expected to provide information related to the management of biomass waste into renewable energy using environmentally friendly techniques.

References

- [1] Global Waste Management Outlook 2024, ISWA, (2024)
- [2] Abdi Karya. I P. *et al.*, EM-NANO2025., P2-65 (2025)

低熱膨張 CFRP 躯体の熱的安定性の精密計測システムの開発

Development of a precise measurement system for evaluating the thermal stability of CFRP building frame with low thermal expansion

岐阜高専¹, 鈴木工業², レーザーシステム³, アドテックエンジニアリング⁴○河野託也¹, 多賀雅彦², 奥山大輔³, 田中米太⁴NIT, Gifu College¹, Suzuki-kogyo², Laser Systems³, ADTEC Engineering⁴○Takuya Kohno¹, Masahiko Taga², Daisuke Okuyama³, and Yoneta Tanaka⁴

大型装置の性能, 特に高精度・高信頼度を要求される加工機においては内部発熱による温度変化が装置安定性に大きな影響を与える. 特に精度が要求される部材についてはゼロ膨張ガラス(ゼロデュア等)も使用されるが強度や比剛性, 材料サイズの点で用途は限定されている.

本研究は, 装置躯体材料用途に低熱膨張 CFRP 材を使用し, その大型装置の熱的安定性を達成する事である. これまでに材料特性が得られているが¹⁾, 産業用機械の運用環境での評価や $1\mu\text{m}$ 以下の寸法安定性の議論は行われていない. ここでは, 主に熱的安定性の影響が問題となる比較的小規模な光学機器の躯体にターゲットを絞り, 低熱膨張 CFRP 材を躯体として組み込んだ光共振器の環境温度変化に対する動作評価を開始した²⁾. 開発した計測システムは環境温度に対する共振器長の変化を共振器の透過光強度の増減を計測し行うため, 評価可能な範囲が光共振器の信号の得られる範囲に限られる点やより直接的に共振器長の増減変化を計測評価したい課題が得られた. これらの課題解決するために, 現システムは 1 台のレーザーで周波数マーカと計測評価用途に利用しているが, 新システムでは, 各用途をそれぞれ 1 台のレーザーに分担する. これにより, 計測を行っている最中にも変動量が直接的に認識できるようになり, 短期・長期の評価が非常に容易となる. 図 1 がそのシステムの構成である. 現在, もう 1 台のレーザー光源の設計開発に着手しており, 今後は新計測システムを構築し CFRP 躯体の熱的安定性の再評価を行う予定である.

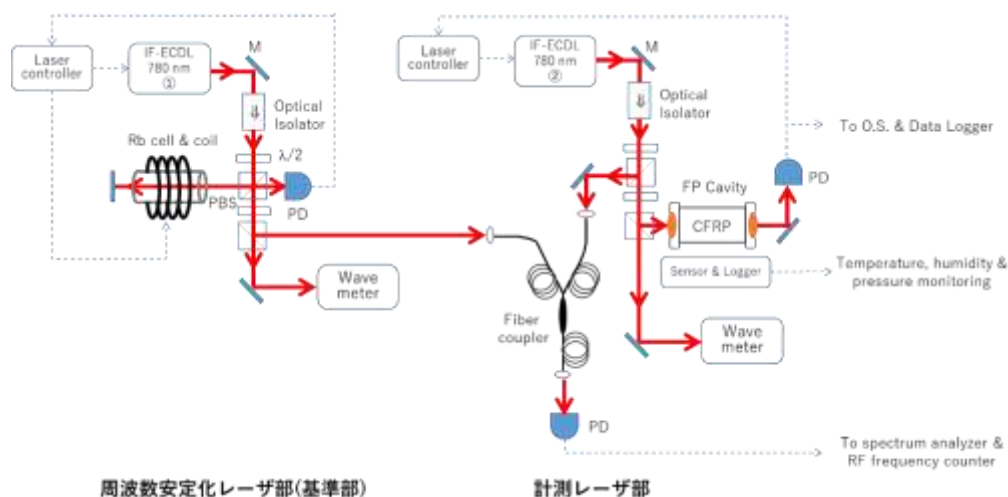


図 1 開発中の CFRP 躯体の熱的安定性精密計測システムの構成

参考文献

- 1) Keiji Ogi *et al.*, International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, 4(1), pp. 27-36(2021)
- 2) 河野託也ほか, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 21p-P16-10, p.03-303 (2023)

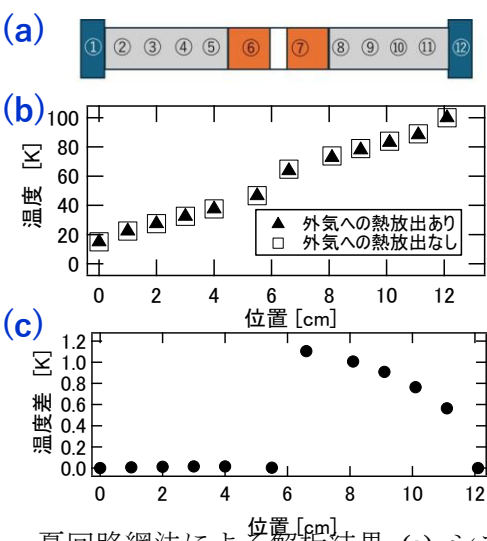
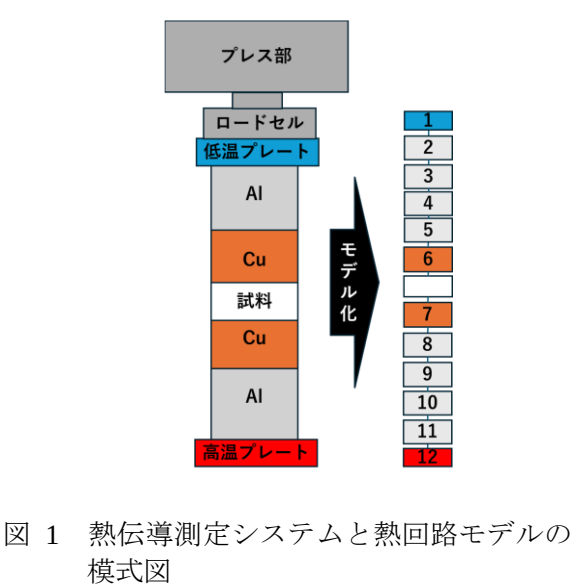
熱回路網法を用いた定常熱流比較法による
熱伝導率測定システムの熱損失評価に関する研究

Evaluation of Heat Loss in a Thermal Conductivity Measurement System Using
Thermal Circuit Network-Based Steady-State Comparative Method

北海道科学大学・工¹、和歌山大学・シス工²、筑波大学・数物³、原子力機構・物質科学⁴
○(B)北風頼人¹、早川虹雪¹、小田将人²、石井宏幸³、本田充紀⁴、村口正和¹
Hokkaido Univ. of Sci.¹, Wakayama Univ.², Univ. of Tsukuba³, JAEA⁴,
○Yorito Kitakaze¹, Kosetsu Hayakawa¹, Masato Oda², Hiroyuki Ishii³, Mitsunori Honda⁴,
Masakazu Muraguchi¹
E-mail: muraguchi-m@hus.ac.jp

未利用熱の有効活用技術として、熱電発電が注目されている。熱電材料の開発においては、ゼーベック係数、電気伝導率、熱伝導率の評価が不可欠である。これらの物性を高精度に評価するためには、熱と電気の両方を精密に制御する必要がある。なかでも、試料中の伝熱を的確に把握し、熱伝導率を求めることは、環境への熱の漏れや測定時の外乱といった影響を受けやすく、特に困難である。このため、実験系を適切にモデル化し、外乱や熱損失に対する補正を行うことが、測定精度の向上には不可欠である。

本研究では、一方向熱流定常比較法による熱伝導率測定に焦点を当てた。この手法は、図 1 に示すように、熱伝導率が既知の金属と未知の試料を直列に接触させ、各部の温度差を測定することで熱流を算出し、未知試料の熱伝導率を求めるものである。装置構成が比較的簡易であることから広く用いられているが、定常状態への到達に時間を要するほか、外気や接触熱抵抗の影響により測定精度が低下するという課題がある。特に、熱電材料のような低熱伝導率材料に適用する場合、接触熱抵抗や外気への熱の流入出の影響が顕著になり、測定データの信頼性確保が重要な課題となる。そこで本研究では、測定系全体を熱回路網法によりモデル化し、システム上の問題点を抽出するとともに、補正を簡便に行う方法を検討した。加えて、外気への熱漏れを防ぐガードヒーター法を含む複数の定常熱流法のバリエーションを比較・評価し、より信頼性の高い測定手法の探索を行った。その結果について報告する。



PWM 技術を使った光ファイバ式 Duty 制御パルス蛍光測定における 光劣化フリーなビタミン B2 定量条件の検討

Photodegradation-free measurement of vitamin B2 in milk using a fiber-optic duty controlled pulse photoluminescence evaluation technique based on a PWM technique

東洋大理工¹, マツモト精密工業², 木曾健心¹, 〇勝亦徹¹, 吉田知生¹, 坂倉明生¹, 相沢宏明¹,
松元健²

Toyo Univ.¹, Matsumoto Precision Co.², Kenshin Kiso¹, 〇Toru Katsumata¹, Tomoki Yoshida¹, Akio
Sakakura¹, Hiroaki Aizawa¹, Takeshi Matsumoto²

E-mail: katsumat@toyo.jp

はじめに

LED 照明の調光に利用されているパルス変調技術 (Pulse Width Modulation, PWM) を使って発光強度の時間変化の無い安定な LED 光源が開発できた¹。安定なパルス LED 光源を励起光として、励起光の実効的な照射時間を低減することによって、牛乳に含まれるビタミン B2 の光劣化の無い蛍光測定技術の開発を検討した。

実験

図 1 の Duty 制御パルス LED 光源を使用した光ファイバ式蛍光測定装置を用いた。PWM 信号源として Wave Factory (WF1943A,)、LED ドライバ (NJW4617) を用いた。LED 光源のパルス周波数、Duty %, ピーク電流を変えて牛乳のビタミン B2 の蛍光測定を行い、光劣化の無い測定条件を探索した。

結果

ビタミン B2 の蛍光強度は光劣化によって時間とともに指数関数的に減衰した (図 2)。図 3 に波長 385、415 nm のパルス LED 光源を使って Duty 比 1 %~50 % のパルス点灯で測定した際の蛍光の光劣化の大きさを示した。蛍光の光劣化の大きさは励起波長によって変化した。また、Duty 比が小さい測定条件では光劣化が小さいことがわかった。

参考文献

1. A. Hitomi, et al., Review of Scientific Instruments, **95** (2024) 054901-1-5.
2. T. Katsumata, et al., International Dairy Journal, **109** (2020) 104744.

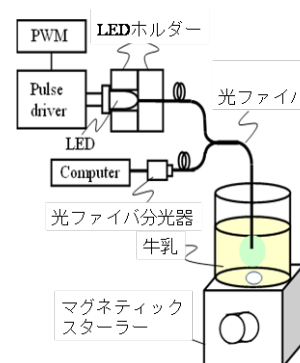


図.1 牛乳の蛍光測定。

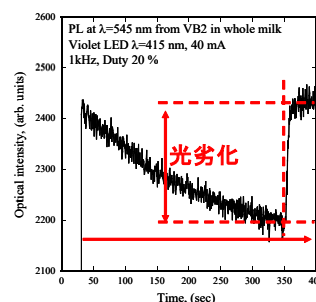


図.2 牛乳の蛍光の時間変化。

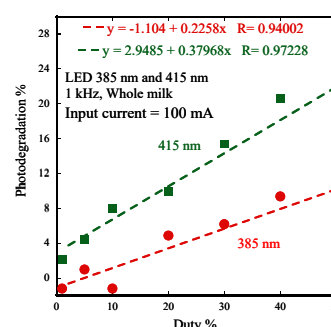


図 3. Duty 比制御による光劣化低減。

マイクロ波 CT 診断による食品安全検査

Food Safety Inspection by Microwave CT diagnostics

(B4) 宮岡隼、山口聡一郎 (関西大)

(B4) Hayato Miyaoka, Soichiro Yamaguchi (Kansai univ.)

(E-mail) K032052@kansai-u.ac.jp

マイクロ波計算機トモグラフィー(CT)法を用いて食品サンプルの内部空洞や異物混入を検知する。近年、食品の品質管理や安全性への関心が高まる中で、製造工程における異物混入や内部欠陥の検出が重要な課題となっている。従来では X 線検査を用いる方法等があるが、放射線による安全性やコスト面の課題があり、製品の全数検査を行うことは容易ではない。マイクロ波は測定対象物が持つ誘電率（食品内部の含水率など）に高感度に応答するので、食品内部の空洞や異物を非破壊検知することが比較的容易と考えられる。また、被曝のリスクがなく照射電力が 10mW 程度と小さいので人体に対する安全性が高く、低コスト化や装置小型化を実現しやすい利点がある。図 1 はマイクロ波 CT システムの回路図である。8 ~ 12 GHz 帯の固定周波数、電力 10 mW の連続波を照射し、局部発振器による中間周波数 110 MHz で受信波の振幅と位相を測定する。2 軸の自動回転ステージを遠隔制御することで、測定試料の周囲でマイクロ波の送信角度と受信角度をそれぞれ掃引する。CT 画像の再構成は、医用 X 線 CT と同様に物体を透過した際の減衰量から線吸収係数分布を計算し、統計学的な理論に基づいた逐次近似法である最尤推定-期待値最大化法 (ML-EM 法) で画像の高精度化を図った。また、物体による散乱マイクロ波の逆伝播を計算する単純逆投影法も併用した。図 2 は照射周波数 10 GHz (波長 30mm) で空洞径 35mm の試料を測定した場合の線吸収係数分布の CT 画像である。空洞部分を画像中心から偏心させており、三日月形の CT 画像が得られた。空洞径が波長に近く、回折限界の測定条件であっても、マイクロ波 CT 診断を用いて試料内部の空洞を検知できる。

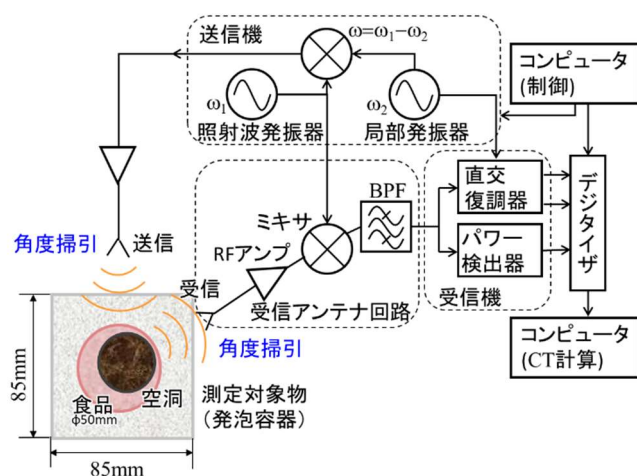


Fig.1 Microwave CT System

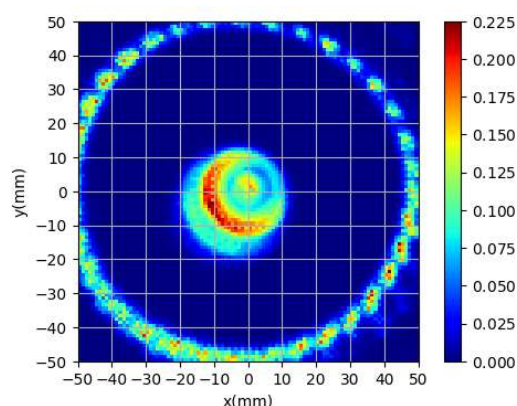


Fig.2 CT image of chocolate confectionery

水中二酸化炭素濃度測定に用いる PDMS 流路の耐久性向上の検討



Durability Enhancement of PDMS Channels

for Dissolved CO₂ Measurement in Water

東京科学大学¹, 国立研究開発法人海洋研究開発機構²

○(M2) 山本 空¹, ○(M1) 甲 彩希¹ 中野善之², 三輪哲也², 柳田 保子¹

Institute of Science Tokyo¹, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology²,

°Sora Yamamoto¹, Yoshinori Nakano², Tetsuya Miwa², Yasuko Yanagida¹

E-mail: yamamoto.s.1b5d@m.isct.ac.jp, yanagida.y.aa@m.titech.ac.jp

1. 緒言

地球温暖化に伴う環境変化を定量的に把握するには水中 CO₂の継続的なモニタリングが不可欠であり、長期間の測定には、その耐久性の向上が重要である。そこで本研究では、水中 CO₂ 想定に用いる PDMS 流路の耐久性の向上とした。流路材料を従来の Amorphous Teflon から PDMS およびシリコン膜へと変更し、ガス交換膜をチューブ状の立体構造からシート状にすることで、小型化と構造的耐久性の向上を図る。さらに PDMS 流路の作製条件を見直すことで、使用中の破損頻度の低減を目指す。

2. 実験方法

フォトリソグラフィにより鋳型を作製し、それを用いてポリジメチルシロキサン (PDMS) に流路構造を転写した。作製した PDMS 流路に CO₂透過膜をプラズマ接着し、流路デバイスを作製した。流路高さの均一化を目的に、シリコンウェハのリンス条件およびレジスト管理法を改善した。PDMS およびシリコン膜に対し、O₂ プラズマ処理時間と接触角の関係を調査し、適切な接着条件を見出すことで接着強度と耐久性を向上させ、耐久度を試験した。

3. 結果と考察

・耐久度

耐久度試験の結果、従来の流路では pH 指示薬を

25×10⁻³ [ml/min] を流入すると 60 個中 31 個の流路が破損せずに使用できていたところ、改善された 1.5 [ml/min] で流入すると 81 個中 67 個の流路は破損することなく、耐久度を向上することに成功した。

・水中二酸化炭素濃度測定結果

水中二酸化炭素濃度測定の結果、流路長 725 [mm] の PDMS 流路では再現性の高いデータを取得することに成功 (Fig.1) した。流路のさらなる小型化を目指すべく、流路長を 188 [mm] と短くした場合でも再現性の高いデータ (Fig.2) を取得するために、設計寸法、測定条件などについて検討し、測定性能の向上を目指す。

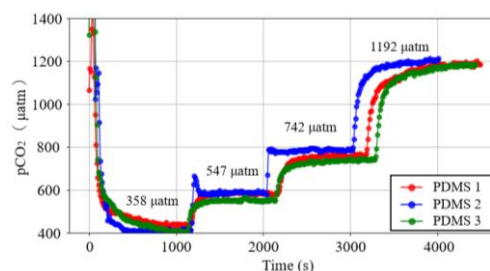


Fig.1 pCO₂ Measured 3 Times in 735mm PDMS Channel

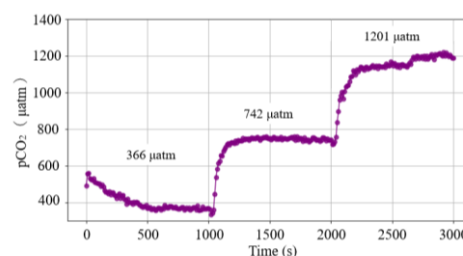


Fig.2 pCO₂ Measured in 188mm PDMS Channel

水中二酸化炭素濃度測定に用いる PDMS 流路の流路長の最適化



Optimization of PDMS Channel Length

for Measuring Dissolved CO₂ in Water

東京科学大学¹, 国立研究開発法人海洋研究開発機構²

○(M1)甲 彩希¹, (M2)山本 空¹, 中野善之², 三輪哲也², 柳田 保子¹

Institute of Science Tokyo¹, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology²,

°Saki Kabuto¹, Sora Yamamoto¹, Yoshinori Nakano², Tetsuya Miwa², Yasuko Yanagida¹

E-mail: kabuto.s.4364@m.isct.ac.jp, yanagida.y.aa@m.titech.ac.jp

1. 緒言

地球温暖化に伴う環境変化を定量的に把握するには、水中 CO₂の継続的なモニタリングが不可欠であり、その重要性は環境調査にとどまらず、養殖や水族館、Carbon dioxide Capture and Storage (CCS) など様々な現場にも及ぶ。そこで本研究では、現場で求められる小型化・高耐久性・現場適用性を兼ね備えた PDMS 流路の開発を目的とする。流路材料として PDMS およびシリコン膜を採用することで、シート状の構造とし、小型化と構造的耐久性の向上を図る。本研究では、異なる流路長を有する流路を作製し、現場に適した流路長の最適化を行う。

2. 実験方法

フォトリソグラフィにより鋳型を作製し、それを用いてポリジメチルシロキサン (PDMS) に流路構造を転写した。作製した PDMS 流路に CO₂透過性を有するシリコン膜をプラズマ接着し、流路長が 188 mm、283 mm、537 mm、864 mm の 4 種類のデバイスを作製した。これらの PDMS 流路と、366 μatm と 742 μatm 、1201 μatm の CO₂標準ガスを十分にバブリングした人工海水サンプルを用いて、PDMS 流路内の pH 指示薬の吸光度を測定し、pCO₂濃度の測定を算出した。

3. 結果

pH 指示薬の吸光度測定結果 (Fig.1) および pCO₂濃度の算出結果 (Fig.2) に示すように、流路長にかかわらず水中の 366 μatm と 742 μatm 、1201 μatm の CO₂濃度を測定することができた。特に最短流路長 (188 mm) においても、CO₂濃度の変化に応答した吸光度および pCO₂濃度の変化が測定され、感度の著しい低下は見られなかった。一方で、測定結果にはばらつきが見られ、再現性の面で課題が残ることが明らかとなった。今後は更なる最適化により、測定性能の向上を図る。

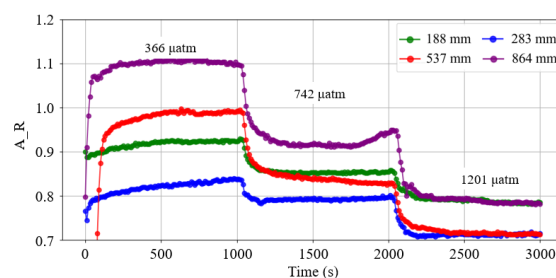


Fig.1 Spectrophotometric Data of pH Indicator

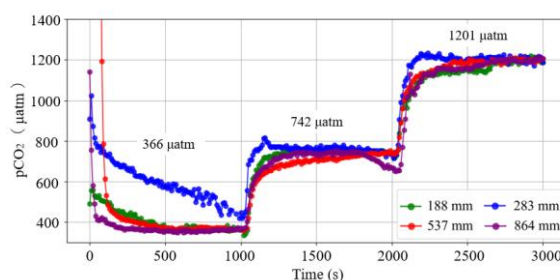


Fig.2 pCO₂ Calculation Results

DC バイアススパッタ法を用いた基板への正イオン照射による c 軸平行配向 ZnO 膜の圧電性向上

Improvement in piezoelectricity of c-axis parallel oriented ZnO films using positive ion irradiation to substrate by DC bias sputtering

同志社大¹, 早稲田大² ◯(M2) 吉田 侑矢¹, 高柳 真司¹, 柳谷 隆彦²

Doshisha Univ.¹, Waseda univ.² ◯Yuya Yoshida¹, Shinji Takayanagi¹, Takahiko Yanagitani²

E-mail: stakayan@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

ZnO は六方晶ウルツ鉱型の圧電体である。圧電軸 (c 軸) が基板に対して平行かつ一方に配向した c 軸平行配向膜は、横波型弾性波の励振に適し、厚みすべりモード共振子へ応用できる^[1]。

スパッタ法によって ZnO 膜を作製すると、最密面である(0001)面が優先配向する性質がある。一方、ZnO ターゲット付近で発生する高エネルギーの負イオン O^- を基板に照射することで、c 軸平行配向膜が得られる^[2]。しかし、大量の O^- を基板に照射するために、0.1 Pa 以下の低圧下で成膜するなど放電を維持することが困難となる。そこで、基板台に RF バイアス電力を投入すると、スパッタ成膜中に大量に存在する O_2^+ 、 Ar^+ などの正イオンを基板へ加速させ、ZnO 膜の結晶配向を制御できる^[3]。RF バイアスでは基板が絶縁体でも正イオンを加速できる利点はあるが、成膜用 RF 電源と異なる周波数の RF 電源が必要になるなど装置構成が複雑になる。一方、c 軸平行配向膜を共振子へ応用することを考えると、電極膜上へ ZnO 膜を作製することから、DC バイアス電圧の基板印加でも正イオンを加速できると予想される。本研究では、DC バイアススパッタ法を用いて ZnO 膜を成膜し、その結晶化度および圧電性の向上を試みた。

2. 実験方法

Fig. 1 のように RF マグネトロンスパッタ装置の基板側に DC 電圧を印加し、ZnO 膜を作製した。ターゲットには直径 80 mm の ZnO 焼結体、基板には Al 電極/石英基板を用いた。雰囲気ガス圧 0.1 Pa、 Ar/O_2 分圧比 1/3 とし、ターゲット電極に 13.56 MHz、100 W の RF 電力を投入した。DC バイアスなしの場合、この条件で c 軸平行配向膜が作製される^[2]。ターゲット中心から半径 30 mm 地点 (エロージョンエリア) の上方で膜厚が 2 μm 程度になるよう成膜時間を調節した。

3. 実験結果、考察

作製した試料のエロージョンエリア上方での XRD パターンを Fig. 2 に示す。DC 電圧を増加させると、(10 $\bar{1}$ 0)面のピーク強度が増加した。これは、RF バイアス電力を投入した場合と同様であり、正イオンが基板に加速されたと考えられる^[3]。この測定位置で Cu 電極/ZnO 膜/Al 電極/石英基板の HBAR 構造を作製し、その横波変換損失から厚みすべりモード電気機械結合係数 k_{15}^2 を推定した。DC 電圧が 0、60、80、100 V の試料で、 k_{15}^2 がそれぞれ 2.7、2.8、3.3、3.0% となった。以上より、DC バイアス電圧の基板印加により、c 軸平行配向薄膜の結晶化度、圧電性が向上した。

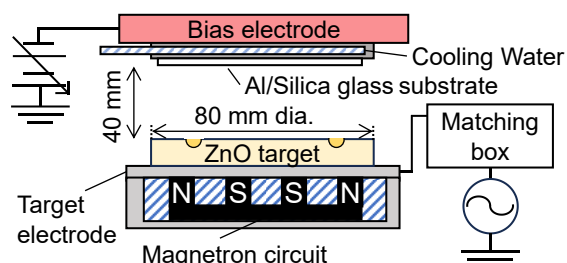


Fig. 1 RF magnetron sputtering apparatus with substrate DC bias voltage.

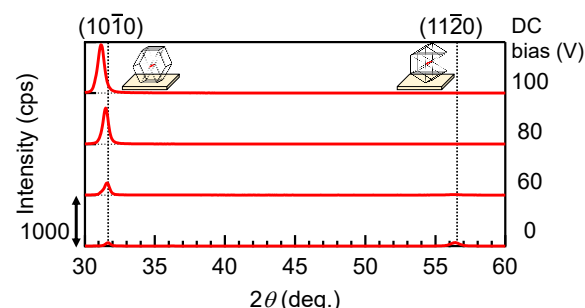


Fig. 2 2θ - ω scan XRD patterns of ZnO films.

参考文献

- [1] T. Yanagitani, et al., *J. Appl. Phys.*, **102**, 044115 (2007).
- [2] S. Takayanagi, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **101**, 232902 (2012).
- [3] 高柳、他、第 60 回応用物理学会春期学術講演会、29a-B2-2、2013.

1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology Oral presentation : 1.1 Interdisciplinary and General Physics
--

[8a-N406-1~3] 1.1 Interdisciplinary and General Physics

[8a-N406-1]

Topological phase transition in Rice-Mele model with bond disorder

○Kenyu Chikamori¹, Kiminori Hattori¹ (1.Osaka Univ.)

[8a-N406-2]

Topology of dissipative Rice-Mele model in terms of electric conduction

○Hayato Iizuka¹, Hattori Kiminori¹ (1.Osaka Univ.)

[8a-N406-3]

Numerical Simulation of Liquid Column Breakup in Electrostatic Field Using Phase-Field Lattice Boltzmann Method

○Makoto Sugimoto¹, Kalyani Barman¹, Shota Sasaki¹, Toshiro Kaneko¹, Masaya Shigeta¹ (1.Tohoku Univ.)

Rice-Mele モデルにおける乱れによるトポロジカル相転移

Topological phase transition in Rice-Mele model with bond disorder

阪大院基礎工, [○](M2) 近森絢湧, 服部公則

Graduate School of Engineering Science, Osaka Univ., [○]Kenyu Chikamori, Kiminori Hattori

E-mail: u978045j@ecs.osaka-u.ac.jp

現在、新しい技術的なパラダイムとして、トポロジカル物質が示す特異な現象や機能が注目されており、トポロジカル物質の研究においては、現実の系のような乱れの存在下におけるトポロジカル相転移を解明することが重要な課題となっている。一般には、非自明なトポロジジーは、ある強度の乱れまでは影響を受けず、乱れが十分強くなると消失する。逆に十分強い乱れによって自明な相から非自明な相へ相転移が起こることも知られており、乱れによって誘起されたトポロジカルな相は、トポロジカルアンダーソン絶縁体(TAI) 相[1]として知られている。さらに、非対角乱れの存在下では相転移は異常局在を伴い、指数関数的局在長が発散することが観測されている[2]。

そこで本研究では、カイラル対称性を持たず、一般にはトポロジジーを持たないとされてきた1次元 Rice-Mele (RM)モデルに、非対角乱れを導入した系のトポロジカルな性質を、系の対称性にかかわらず適用可能な実空間トポロジカル不変量 Q [2]を用いて、数値的に解明した。Fig. 1 にセル内、セル間のホッピングエネルギーの一方にのみ乱れを導入した時の 10^3 回の数値計算の平均値 $\langle Q \rangle$ のパラメータ空間 (V, ν) 、 (W, w) における相図をそれぞれ示す [$\nu(w)$: セル内(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、 $V(W)$: セル内(間)ホッピングエネルギーの乱れの強度]。Fig. 1 が示すように、乱れの強度に伴って相境

界は変化する。Fig. 1 (a) では十分強い乱れによってトポロジジーが消失し、Fig. 1 (b) では乱れによる自明な相 $Q = 0$ から非自明な相 $Q = 1$ への相転移が確認できる。本研究ではさらに、相転移の過程における局在長の振る舞いについて、数値解析を行った。また、この系におけるバルクエッジ対応も確認している。本講演では、数値計算や理論解析について詳述する。

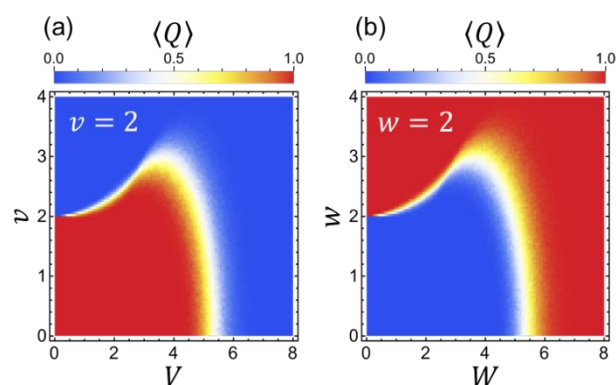


Fig. 1. Maps of $\langle Q \rangle$ in parameter spaces (a) (V, ν) and (b) (W, w) for $m = 5 \times 10^{-6}$ and $N = 200$. The other parameters are fixed at $(w, W) = (2, 0)$ in (a) and $(\nu, V) = (2, 0)$ in (b).

[1] J. Li, R.-L. Chu, J. K. Jain, and S.-Q. Shen, Phys. Rev. Lett. **102**, 136806 (2009).

[2] L. Fleishman and D. C. Licciardello, J. Phys. C **10**, L125 (1977).

[3] K. Hattori and A. Yamaguchi, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 044702 (2024).

散逸性 Rice-Mele モデルにおけるトポロジー

Topology of dissipative Rice-Mele model in terms of electric conduction

阪大院基礎工, [○](M2) 飯塚勇斗, 服部公則

Graduate School of Engineering Science, Osaka Univ., [○]Hayato Iizuka, Kiminori Hattori

E-mail: u849223c@ecs.osaka-u.ac.jp

現在、新しい技術的なパラダイムとして、トポロジカル絶縁体が示す特異な現象や機能が注目されている。この系の技術的応用において、系を取り巻く環境との相互作用は避けられない。一般に、外界との接触は、系にエネルギー散逸や位相緩和を誘起する。これらの物理過程が系のトポロジーにどのような影響を及ぼすかは決して自明ではない。

そこで本研究では、1次元トポロジカル絶縁体の1種である2つの副格子 A, B からなる Rice-Mele (RM) モデルを想定し、トポロジーとエネルギー散逸・位相緩和の関連を数値的に調査した。

バルクの非自明なトポロジーの帰結として、RM モデルには両端に局在したトポロジカル・エッジ状態が出現する。本研究では、系にリードを接続し、エッジ状態を経由したリード間コンダクタンスを数値的に評価した。コンダクタンスの計算にはランダウアー公式を用いた。エネルギー散逸・位相緩和の影響を調べるためには、エネルギーの流れは許容するが、粒子の正味の流れがないプローブの接続を考えた。Fig. 1 は、左端のサイトに2本のリードを接続し (Fig. 1 a 参照)、プローブを B サイトにのみ接続したときのコンダクタンス G と状態密度 D の値をパラメータ空間 (Γ_p, ε) で表示したものである (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、 Γ_p : プローブによる線幅、 ε : エネルギー)。Fig. 1 c より、プローブの接続によりバルクバンドが顕著にブロード化していることがわかる。一方、Fig. 1 b よりエネルギー散逸・位相緩和があっても左端付近に局在するエッジ状態は維持していることがわかる。これらの結果より、エネルギー散逸・位相緩和は RM モデルのトポロジーに影響を与えないことが示唆される。本講演では、他の理論的検討を交え、詳細を報告する。

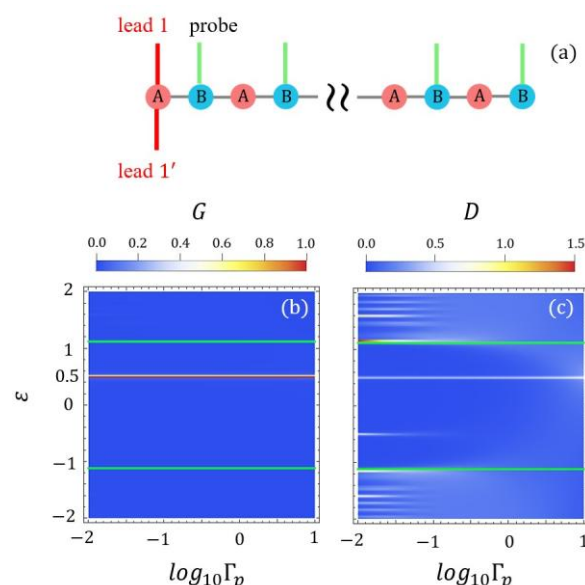


Fig. 1. (a) The RM chain in contact with leads and probes. (b) Conductance and (c) density of states in parameter space (Γ_p, ε). These results are derived for $v = 1.0$, $w = 2.0$, $m = 0.5$ and $N = 50$. The green lines at $\varepsilon = 1.1$ and -1.1 indicate the upper band minimum and the lower band maximum, respectively.

フェーズフィールド格子ボルツマン法による 静電場中の液柱流破断シミュレーション

Numerical Simulation of Liquid Column Breakup in Electrostatic Field

Using Phase-Field Lattice Boltzmann Method

東北大院工¹ °杉本 真¹, Barman Kalyani¹, 佐々木 渉太¹,

金子 俊郎¹, 茂田 正哉¹

Tohoku Univ.¹, °Makoto Sugimoto¹, Kalyani Barman¹, Shota Sasaki¹,

Toshiro Kaneko¹, Masaya Shigeta¹

E-mail: msugimoto@tohoku.ac.jp

静電場中の誘電体には、Maxwell 応力テンソルに起因する力が作用することが知られている。本研究では静電場が液柱流のダイナミクスに及ぼす影響の解明を目的として、数値シミュレーションを実施した。気液混相流の数値シミュレーションには、大変形を伴う気液界面挙動の取り扱いに適したフェーズフィールド格子ボルツマン法を使用し、Navier-Stokes 方程式に外力項として Maxwell 応力テンソルに起因する力を考慮した。また、格子ボルツマン法を用いて Laplace 方程式を解くことで、電極周りの電位分布をシミュレートし、電場および Maxwell 応力場を計算した。

図 1 に計算対象を示す。内径 130 μm のポリエーテルエーテルケトン(PEEK)製の円管から流速 8.79 m/s で噴出した水のシミュレーションを行った。PEEK 管は外径 6.1 mm の石英管で覆われており、石英管には交流電源に接続した電極が取り付けられている。交流電源の最大電圧は 11.5 kV とし、周波数は 10 kHz とした。本研究では、図中の赤枠の領域において電場シミュレーションを実施した。流体シミュレーションは青枠の領域で実施し、電場シミュレーションで得られた Maxwell 応力場に基づく外力項を考慮した。図 2 に流体シミュレーション結果の瞬間像を示す。図中の(a)および(b)は Maxwell 応力を考慮しない場合および考慮した場合の結果であり、図中の x は PEEK 管の先端からの距離を表す。図 2 より、本研究で対象とした系では、Maxwell 応力場は液柱の破断位置にほとんど影響を及ぼさないことがわかった。

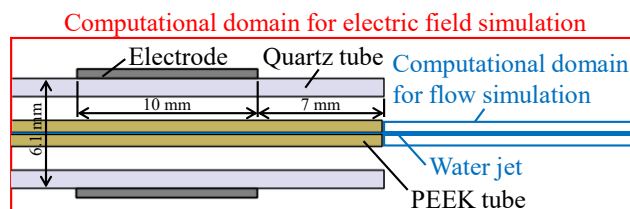


Fig. 1 Computational domains for flow and electric field simulations.

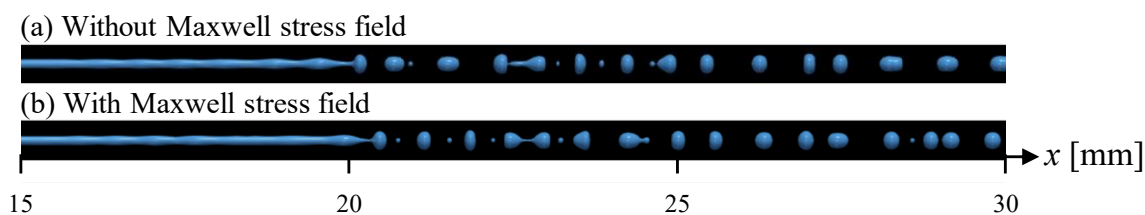


Fig. 2 Snapshots of droplet formation from the water jets.

1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology Oral presentation : 1.2 Education

[8p-N406-1~5] 1.2 Education

[8p-N406-1]

Printed strain sensor on photo glossy paper by using Ag nano-ink

○Mitsuki Ito¹, Shinnosuke Idogawa¹ (1.NIT, Kushiro College)

[8p-N406-2]

Development and Implementation of a Scanning Electron Microscope Training Program of Semiconductor Education for KOSEN Students

○Risako Taguchi¹, Shigetaka Katori¹ (1.NIT Tsuyama)

[8p-N406-3]

Self-consciousness survey on the extra-curricular students' project team members

○Makoto Hasegawa¹, Shota Umei¹ (1.Chitose Inst. of Science and Tech.)

[8p-N406-4]

A Two-Dimensional Framework for Understanding and Retaining Basic Electromagnetic Theory

○Yuji Oki^{1,2} (1.Kyushu Univ., 2.SOPT LLC.)

[8p-N406-5]

Fabrication of touchpad capacitive sensors for eco-friendly human-machine interface using pencil-drawn graphitic traces

○Mitsuki Ito¹ (1.NIT, Kushiro College)

Ag ナノインクを用いたインクジェット印刷による 歪センサーの作製の検討

Printed strain sensor on
photo glossy paper by using Ag nano-ink

釧路工業高等専門学校

○伊藤光樹、井戸川 慎之介

National Institute of Technology, Kushiro College

○M. Ito and S. Idogawa

E-mail: m-ito@kushiro-ct.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、近年扱様々な任意の回路パターンを作製できることから、導電性インクを用いたインクジェット印刷が注目されている。そこでこれまでに当研究室では、今後のペーパーメカトロニクスへの応用を見据えて、Ag ナノインクによる回路パターンの作製システムの構築を行ってきた[2]。そこで本発表では、これまでに構築したシステムにより抵抗変化型の歪センサーの作製を行ったので、その時間に対する抵抗変化特性について報告する。

はじめに、インクジェットプリンターに Ag ナノインクをインクカートリッジに注入して長方形型のセンサーパターンを作製した。この時、プリンターは一般的に市販されているものを使用した。今回の実験での基材は写真光沢紙とした。図 1 に示すように、作製した抵抗素子に対して最大 90°程度の歪を与えて、その際の抵抗変化をマルチメーターにより取得した。図 2 にこの際の時間に対する抵抗変化特性を示す。図より、指を 90°程度まで曲げることで、相対抵抗変化量が最大で 10%程度まで上昇して、実際の動作に追従していることがわかる。以上の結果から、これまでに構築した Ag ナノインクを用いたインクジェット印刷による回路作製システムにより、より実用的な抵抗変化型の歪センサーを作製できたことが示された。

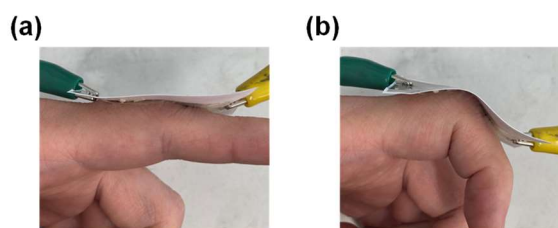


Fig. 1 Picture the finger in (a) the straight state and (b) the bent state.

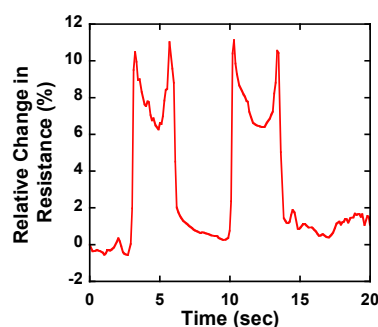


Fig. 2 The graphs elucidate the On-finger evaluation of the fabricated strain sensor.

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] 伊藤他: 第72回応用物理学会春季学術講演会 14p-K310-4 (2025).

半導体人材育成を目的とした走査型電子顕微鏡を活用する 実験プログラムの開発と実証

Development and Implementation of a Scanning Electron Microscope Training Program for Semiconductor Education of KOSEN Students

津山工業高等専門学校 ○田口 理沙子, 香取 重尊

National Institute of Technology, Tsuyama College ○Risako Taguchi, Shigetaka Katori

E-mail: taguchi@tsuyama-ct.ac.jp

1. 序論

近年、半導体産業の重要性が再認識される中で、国立高等専門学校機構においても、2022年（令和4年）より「半導体人材育成事業」が開始され、高専における半導体教育の重要性が高まりつつある。特に、研究開発や製造現場において不可欠な評価装置である走査型電子顕微鏡（SEM）の操作技術を修得した人材は、半導体分野における即戦力として期待されている。そこで本研究では、SEMを活用した実験プログラムを開発し、学生が半導体分野に興味を持ち、実践を通じて基礎から応用に至るまでの一貫した観察技術を習得することを目的とした。

津山高専では、これまでも電気電子システム系（旧電気電子工学科）3年生の実験実習には、SEMを用いた実習テーマが含まれていた。各グループ（3～4人）で、試料の準備からSEMによる観察、観察後の試料の取り出しまでの一連の操作を、役割分担して実施していた。しかしこの方法では、各個人が体験できる範囲が限られており、SEM操作の全体像を把握することが難しい。また、SEMの原理に関する説明や観察結果の考察も少なく、半導体人材育成という観点からは不十分であった。

そこで、SEMの基礎原理と半導体分野への関心を深められるよう、学生個人が観察の全工程を体験できる実験プログラムの構築を試みた

2. 内容

この実験は電気電子システム系の3年生を対象に行った。SEMの原理を理解し、自ら操作しながら、半導体への興味を促す内容として、以下の2点に着目し、従来の内容より大幅に変更を行った。①実験テキストにSEMの説明を記載する。②観察試料として、有機薄膜・CD・集積回路を用意し、学生自身が観察したいものを選ぶ。

①については、これまでの実験ではSEMを使って観察を行うもののその原理や操作の説明の記載が全くなかった。そのため、実験テキストに記載し、理解を促すために予習レポートとして、課した。②については、当初は有機薄膜の観察を全員行う予定であったが、現段階では半導体分野への関心が低い学生もいるため、まずは動機づけとして、身近なものであるCDや座学で習う集積回路の一例としてLSIを用意した。学生には、実験日までに観察試料を選び、分子構造や製造工程などを自由に調べ、追加の予習レポートとしてまとめさせた。実験当日は、選んだ試料毎に観察の着眼点と操作方法を説明しながら、学生は1人ずつSEMの操作を行った。実験後には、予習レポートの内容と照らし合わせて、フィードバックを行った。

3. 結果

実験終了後、実験内容に関する聞き取り調査を実施した。SEMを用いたテーマについては、「高倍率で観察できた」「高価な装置に触れることができた」「観察に加えて成分分析もできた」といった感想が寄せられ、SEMを用いた実験は学生にとってやりがいのあるものであったことがうかがえた。操作時間については、1人あたり20～30分程度を想定して実施したが、これは適切であったと考えられる。また、観察試料の選定については、好きな試料を観察できたことへの興味・関心の高まりが述べられており、観察しやすい試料を提供できた点も効果を高める要因となった。さらに、「この実験を通して、半導体や材料の分野に興味を持てましたか」という質問をしたところ、ほとんどの学生が「興味を持てた」と回答した。以上の結果から、満足度が高い実験実習を提供でき、半導体分野への動機づけとなるプログラムとして効果があることがわかった。

アウトリーチ活動を行う正課外学生プロジェクトチームに 参加する学生の活動に対する意識調査

Self-consciousness survey on the extra-curricular students' project team members

公立千歳科学技術大学 理工学部 ○長谷川 誠, (B)梅井 翔汰

Chitose Institute of Science and Technology, Makoto Hasegawa, Shota Umei

E-mail: hasegawa@photon.chitose.ac.jp

1. はじめに

正課外学生プロジェクトチーム・理工工房は、約 20 年間に渡って地域の小・中学校、児童館、認定こども園、科学館、各種イベントなどで実験授業や科学教室の実施、実験体験ブースの出展などの活動を積極的に継続している[1-3]。その活動件数は多く、2024 年 4 月～2025 年 3 月までの年度内の活動は計 77 件に達した。毎年度の所属学生メンバは学部生 50～60 名ほどである。このほど、参加学生自らが、活動に対する意識調査を実施した。今回は、その結果の概要を紹介する。

2. 意識調査方法の概要

調査を実施したのは 2024 年 12 月であり、その時点でチームに所属する学部 1～3 年の所属学生が対象であった。以下の設問に対して自由記述で回答する形式であり、計 58 名が回答した。

- (設問 1) 活動を通して個人的に良かったと思う点は？
- (設問 2) 活動を通しての個人的な反省点や改善すべきと思われる点は？
- (設問 3) 次年度に向けてどのようなことをしたいか、またはどのような行動を心がけるか？
- (設問 4) 今の代の活動全般として良かったと思われる点は？
- (設問 5) 今の代の活動全般としての反省点や改善すべきと思われる点は？
- (設問 6) 次年度に向けて活動全般がどうあるべきか、または、どのような運営を望むか？
- (設問 7) そのほか何か記述したいことがあれば自由に記述してください。

3. 調査結果から見える参加学生の意識

設問 2 の個人的な反省点・改善点として、特に 4 月から新しく活動に参加した学部 1 年生からは、「自分で気づいて動けなかった」「受け身の姿勢でいることが多かった」「参加者との会話力が不足していた」など様々な反省点が挙げられた。多くの活動経験を通して自らが自分の成長の道を見いだせることが本活動の大きな特徴であると顧問としての筆者は考えているが、参加学生が実際にその点を体験できていると考えられる。また、設問 5 の全体的な課題点として、一部のメンバへの負荷の集中を指摘する意見が多かった。活動全体を俯瞰的に眺められているようである。

4. おわりに

参加学生自らがこのような意識調査を実施し積極的に回答した点は、本活動の主体的な在り方が体现された事例である。今後も参加学生の主体性が発揮される活動を継続していきたい。

参考文献：(1)長谷川, 科学技術コミュニケーション, 26, pp.3-16 (2020-3) (2)長谷川, 物理教育, 68(1), pp.42-45 (2020-3)

(3) 長谷川, 2023 年第 70 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, No.18p-A404-5 (2023-03)

基礎電磁気学理論体系の二次元可視化と記憶アプローチ (1)

Two-Dimensional Framework for Understanding and Retaining Electromagnetic Theory

九州大シ情¹, SOPT² °興 雄司^{1,2}

Kyushu Univ.¹, SOPT LLC.², °Yuji Oki^{1,2}

E-mail: oki@soptica.jp

基礎電磁気学は大学初等教育として広く履修対象となっているが、学生の理解力や授業達成が非常に難しいとする意見も多い。筆者も 2013 年より 10 年以上電磁気学の基礎科目を担当しているが、8~16 回講義で電磁気学を網羅することは、時間的には不可能ではないが矢継ぎ早に出現する数式とその組合せの多様さに学生は明らかに圧倒されており、演習に合わせた解法の記憶に特化した学習をこなすのが精一杯という意見も見られる。筆者は 2015 年から、電磁気学の基礎方程式がベクトル解析・ベクトル場に関して相似性（双対性）に富むことに着目して長期記憶に資する理論式体系の整理・図示化を試みてきた。1-2)この設計には、記憶の効率化と再構成を促進する、独自の「三位一体記憶」（次元解析・式の対称性・理論的合理性の相補）も取り入れている。

図 1 に 2 次元に可視化した電磁気学の物理変数の中央部（微小空間分布、上下は電場・磁場属性 左右は Volt/Ampere 属性）で配置され、(a)は変数の空間積算特性(示強的, 示量的)に基づくマクスウェルの方程式等の類似性・対称性を図示し、(b)は登場する基礎方程式の型式(①互いに共役な変数の積, ②共役関係の構造式, ③それ以外の構造式, ④連続の式)を示している。電磁気学の基礎方程式はこの 4 タイプの組合せで記述され、このフレームワークで或るルールに従って体系的に俯瞰しながら記憶を織り出すことが可能である。今回体系を空間的に整理する上で、電束密度 $\mathbf{D}$ の真空での意味・ベクトルポテンシャル $\mathbf{A}$ の体系の有用性・電気伝導率 σ と抵抗率 ρ_R の選択・ローレンツ力を $\rho\mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B}$ という体積あたり力で中央配置する等をトピックとして取り上げる。

1) 興：レーザー学会第 588 研究(2024) RTM-24-24, pp.20-25.

2) 興:九州大学基幹教育紀要. 11, (2025)pp.87-106

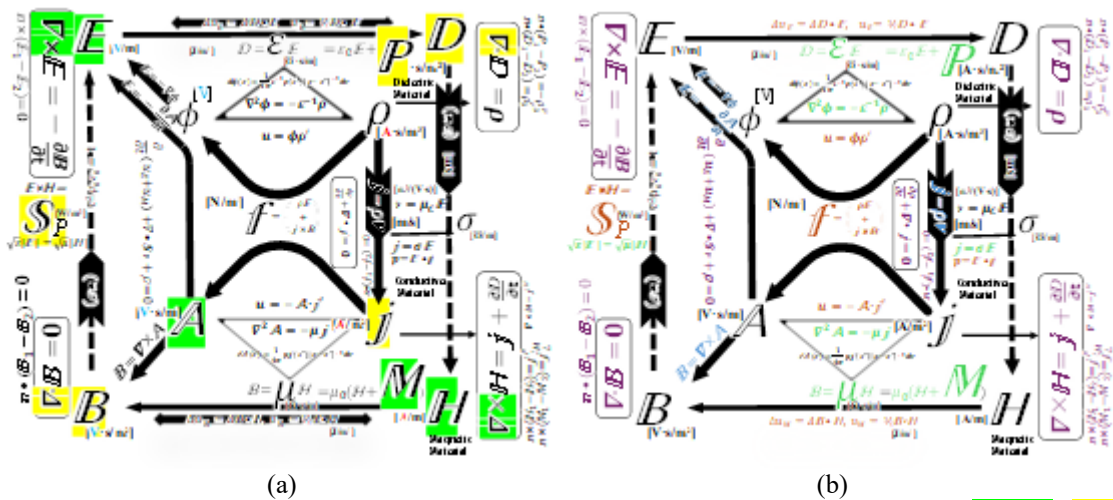


図 1 体系構造の内側の説明 (a) 空間上の積算特性で色分けし、変数の空間積算特性(示強的, 示量的)で色分けした。対角で特性が近い変数や式が配置されている。左右は単位に含有する Volt, Ampere で分離。 (b)各物理変数間基礎方程式をその型式で色分けしたもの。

フレキシブルな環境に優しい 容量タッチセンサの作製の検討

Fabrication of touchpad capacitive sensors for
eco-friendly human-machine interface using pencil-drawn graphitic traces

釧路工業高等専門学校

○伊藤光樹

National Institute of Technology, Kushiro College

○M. Ito

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、Pencil-Trace を用いた電気回路の作製の検討を行った[2]。本発表では、フレキシブルな基材上に作製した Pencil-Trace による容量タッチセンサの作製について報告する。

これまでに、木を用いた静電容量センサー[3]などが報告されているが、本研究では普通紙に対して、デバイスの構造となる平行平板構造を鉛筆の Pencil-Trace を用いて作製した。図 1 に、作製した容量タッチセンサの静電容量に対する測定系を示す。静電容量の取得は Arduino UNO により行った。図 2 に、この際に得られた時間に対する静電容量変化特性を示す。図より、センサー部分に指がタッチした際には、静電容量の値が明瞭に増加していることがわかる。以上の結果から、Pencil-Trace を用いた簡便な方法によって容量タッチセンサを作製できることが示唆された。

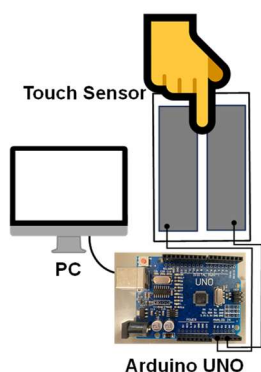


Fig. 1 The experimental setup includes Arduino UNO integrated with inputs sensors and PC.

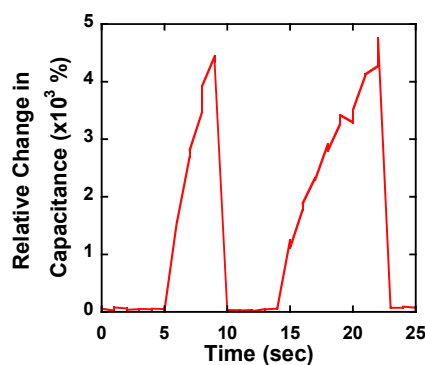


Fig. 2 Sensor response for no-touch and with touch conditions.

References

- [1] N. Kurra and G. U. Kulkarni, Lab Chip 13 (2013) 2866.
- [2] 伊藤他: 第72回応用物理学会春季学術講演会 214p-K310-5 (2025).
- [3] A. S. Thakur et al., Sci. Rep. 14 (2024) 15685.

1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology | Oral presentation : 1.3 Novel technologies and interdisciplinary engineering

[9a-N406-1~7] 1.3 Novel technologies and interdisciplinary engineering

[9a-N406-1]

On-Sensor MOF-Inorganic Hybridized Structure Growth for
Ultrasensitive and selective nonpolar Gas Detection

○(DC)Mikihisa Hirose¹, Tsunaki Takahashi¹, Nobuhiko Hosono¹, Manato Un¹, Takuro Hosomi¹,
Wataru Tanaka¹, Jiangyang Liu¹, Haruka Honda¹, Takashi Uemura¹, Takeshi Yanagida^{1,2} (1.Dept.
Eng. Univ. Tokyo, 2.IMCE, Kyushu Univ)

[9a-N406-2]

Electron and proton in pico-water functions such as nuclear transformation and chemical
reduction

○Sunao Sugihara¹, Hiroshi Maiwa¹ (1.SIT)

[9a-N406-3]

Fabrication of Bent Waveguides and Micro-Mirrors by Planar Semiconductor Process

○(M2)Keito Kikuchi¹, Taro Itatani², Yoshinobu Okano¹, Akihiro Noriki², Takeru Amano² (1.Tokyo
City Univ., 2.AIST.)

[9a-N406-4]

Direct Measurement of Semiconductor Laser Diodes by Thermo-Microscope

Okuyoto taniguchi^{1,2}, Taro Itatani², Joji maeda¹, Akihiro Noriki², Takeru Amano² (1.Tokyo Univ. of
Science, 2.AIST)

[9a-N406-5]

Development of a CORE Silicon Etching Technique Using General-Purpose RIE Equipment:
Influence of Mask Material

○Kanna Aoki¹, Kouichi Akahane¹ (1.NICT)

[9a-N406-6]

Dependence of Etching Rate on Ion Energy for KOH Etching of Amorphized Si Etching Mask
Formed by N⁺ Irradiation

○Mina Sato¹, Mie Tohnishi¹, Akihiro Matsutani¹ (1.Science Tokyo RIM)

[9a-N406-7]

Observation of plasma distribution in a RIE chamber densified by SmCo magnets

○Mie Tohnishi¹, Mina Sato¹, Akihiro Matsutani¹ (1.Science Tokyo)

MOF/無機材料ヘテロ構造の分子センサチップ上での成長手法の開発と 無極性分子への高感度、選択的検出の実証

On-Sensor MOF-Inorganic Hybridized Structure Growth for
Ultrasensitive and selective nonpolar Gas Detection

東大院工¹, 九大先導研² ○(D2)弘世 幹久¹, 高橋 綱己¹, 細野 暢彦¹, (M1)運 愛斗¹,

細見 拓郎¹, 田中 航¹, 劉 江洋¹, 本田 陽翔¹, 植村 卓史¹, 柳田 剛¹²

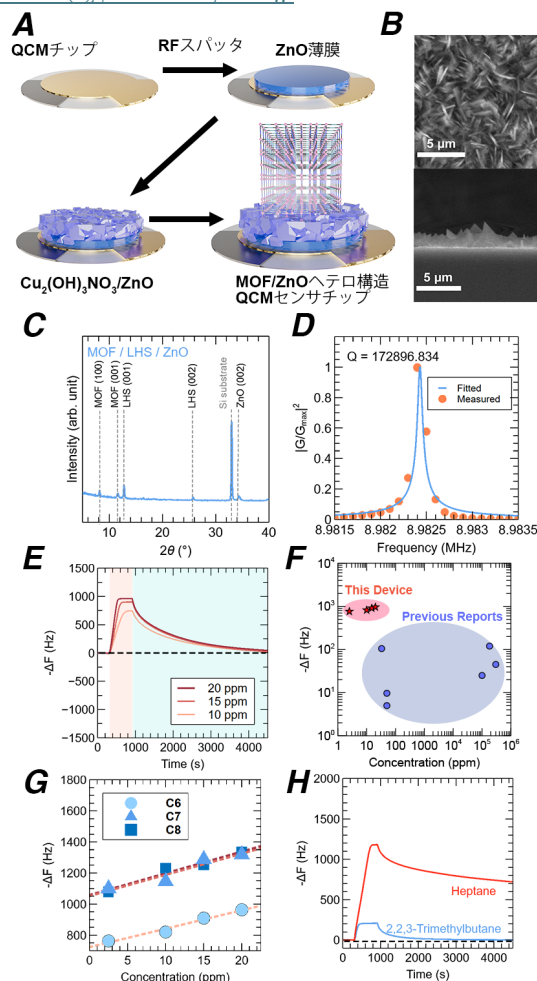
¹Dept. Eng. Univ. Tokyo, ²IMCE, Kyushu Univ., ○Mikihisa Hirose¹, Tsunaki Takahashi¹, Nobuhiko Hosono¹,
Manato Un¹, Takuro Hosomi¹, Wataru Tanaka¹, Jiangyang Liu¹, Haruka Honda¹, Takashi Uemura¹,
Takeshi Yanagida^{1,2}, E-mail: xiaomil221r@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

【背景】揮発性有機化合物(VOCs)の高感度検出は環境モニタリングに必須だが、従来センサは感度と選択性に限界がある。金属有機構造体(MOF)は巨大な比表面積と選択吸着能を持ち、QCM センサに代表される質量型センサと組み合わせれば検出性能の大幅向上が期待される[1, 2]。しかしながら、一般的な成膜法である粉末転写(ドロップキャスト)膜では機械強度が低く、電極とのエネルギー散逸が大きいため MOF 本来の吸着能が応答に反映しきれていない課題がある。本研究では、粉末転写を用いず、QCM 電極上に MOF/無機材料ヘテロ構造を直接成長させる成膜プロセスを開発し、この課題を克服するとともに高感度分子センシングを実証する。

【手法】9MHzQCM チップ上に厚さ 50 nm の ZnO 薄膜を RF スパッタによって成膜した。大気アニール後、QCM チップを $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 0.2 M / pH 3.2 溶液に浸漬した。ZnO は両性酸化物であり、表面における酸性プロトンとの緩やかな反応によって OH⁻が発生するのでこれを $\text{Cu}^{2+} \cdot \text{NO}_3^-$ イオンと会合させ過飽和度を引き上げることによって層状水酸化塩 $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ (LHS) と ZnO からなるヘテロ構造を成長させた。得られた LHS/ZnO ヘテロ構造が持つアニオン交換能により、有機リンカー配位子と、層間 NO_3^- が置換されることによって、ピラー状 MOF($\text{Cu}_2(\text{ndc})_2(\text{dabco})$)/無機材料ヘテロ構造を成長させた(図 A)。モデル分子として無極性の直鎖アルカン(ヘキサン、ヘプタン、オクタン)ガスをチップに暴露しセンサ応答を評価した。

【結果】はじめに、作製した MOF/無機材料ヘテロ構造の物性評価を行った。図 B に示す電子顕微鏡像から、MOF/無機材料ヘテロ構造が基板上に高い被覆率で成膜できていることがわかる。XRD 回折(図 C)からは ZnO (002)に加え、 $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{NO}_3$ の層間反射(001, 002)、および $\text{Cu}_2(\text{ndc})_2(\text{dabco})$ MOF に対応する回折ピークが観察でき、ヘテロ構造が単一基板上で成長していることが確認できた。さらに、従来手法である粉末転写 MOF-QCM センサチップと本研究のセンサで QCM 共振特性における Q 値を比較することによって MOF-QCM 電極間接着性の差異を評価した。その結果、本研究で開発した成膜法は従来よりも遥かに高い Q 値を示し、センシング特性の安定性が劇的に向上することが明らかになった(図 D)。様々な濃度のヘキサン、ヘプタン、オクタンに対するセンサ応答を確認したところ、高い S/N 比を有しつつ(図 E)、既報 QCM センサと比べて世界最高のセンサ応答を記録した(図 F)[3][4][5][6][7][8]。また、本研究センサの検出下限濃度は 500ppb 以下であり、図 G に示す通り線形定量性も有するセンサ開発に成功した。さらに、酸化物ガスセンサ等では識別が極めて難しい、枝分かれアルカンに対しても、MOF の分子ふるい分け効果に基づく精緻な分子選択性を実証した。

【参考文献】 [1] H. Wang, *Acc. Chem. Res.* **2019**, 52, 1968–1978. [2] H. Sorabi, *Mat. Chem. Phys.* **2023**, 299, 127512. [3] E. Haghighi, *RSC. Adv.* **2019**, 9(42), 24460–24470. [4] C. Huang, *Env. Sci.* **2011**, 45(10), 4490–4496. [5] S. Okur, *ACS Sens.* **2024**, 9, 2, 622–630. [6] C. Yim, *RSC. Adv.* **2015**, 5(83), 67454–67458. [7] U. Latif, *Anal. Bio. Chem.* **2011**, 400(8), 2457–2462. [8] N. Speller, *Anal. Chem.* **87**(10), 5156–5166.



The pico-water is formed by the high pressure to city tap water. The hydrogen bonds of two water molecules are considered and the pico-water contains hydrogen atom which I name a subatom. The electron in subatom has spin like usual electron. But the characteristics of the electron in the subatom precessions around a proton rather than oscillates between a proton and the outermost shell (~ 80 pico meter). What control the characteristics are the spin and charge of the electron. As the results, the electron works for chemical reduction and a proton with electron functions nuclear change; For instances, preserving, keeping food and deodorization by the electron (2009 ~). And the subatom changed radioactive cesium 134 and 137 change to stable barium 135 and 138 mostly although we found lanthanum and cerium in Fukushima contaminated soils (2013, 2015 and 2018). Finally, the pico-water size may be like pico-order because absorption rate of water by a plant is more than nano-order water. Therefore, we developed the twice harvest of the rice plant in Niigata and Fukuoka prefectures (2022 ~ 2023).

平面半導体プロセスによる湾曲導波路とマイクロミラーの集積化試作 Fabrication of Bent Waveguides and Micro-Mirrors by Planar Semiconductor Process

東京都市大学総合理工¹, 産業技術総合研究所²

○(M2)菊地 奎人¹, 岡野 好伸¹, 板谷 太郎², 乗木暁博², 天野 健²,

Tokyo City Univ.¹, AIST.², °K. Kikuchi¹, T. Itatani², Y. Okano¹, A. Noriki² and T. Amano²

E-mail: g2481415@tcu.ac.jp

【はじめに】AI 技術の進展により、先進的なデータセンターでは、光配線および光実装による低消費電力化と高速化が加速している。光電コパッケージシステム (Co-Packaged Optics, CPO) は、電子デバイスと光デバイスをパッケージレベルで統合するための概念であり、これに含まれるシリコン光導波路、ポリマー光導波路、光ファイバ間の光接続は、盛んに研究^[1]されている。本研究では、湾曲した光導波路と凹面ミラーを用い光接続構造 (図 1) を提案するとともに、シリコンデバイスの平面プロセスを利用した凹面ミラーと、湾曲した構造を持つ窒化シリコン (SiN) 光導波路の統合試作に関する報告を行う。

【実験】A. マイクロミラーの試作

まず、Si 基板上のマイクロ凹面鏡の領域に対して、フッ素系ガスを用いたドライエッチング法を適用し、ドライエッチングの等方性エッチングの特性を用いることで、エッチング底面に凹面構造を形成した。レーザ顕微鏡で観測された凹面構造を図 2 に示す。試作された凹面構造は、直径 40 μm 、曲率半径 20 μm と、十分小さな曲率が実現された。

B. 湾曲構造を持つ光導波路

次に、図 3 に示すように、SiN 光導波路のコア部をフォトリソグラフィおよび RIE (反応性イオンエッチング) により形成した。SiN 光導波路は、凹面ミラーに隣接する傾斜領域まで延長することで、曲げ構造が形成されている。

【まとめ】将来の三次元光接続技術を実現するために、マイクロ凹面鏡と SiN 曲導波路を組み合わせた構造の試作を行った。マイクロ凹面鏡に関しては、エッチング条件を制御することで、最小の曲率半径として 20 μm の結果を得た。また、エッチングにより形成された傾斜面に SiN を堆積することで、SiN の曲げ導波路の試作を行った。

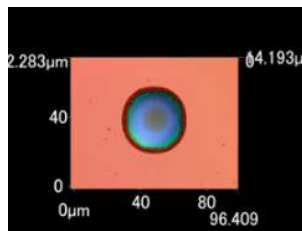
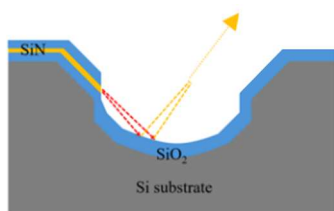


Fig.1 Basic concept of the structure Fig.2 Fabricated micro-mirror Fig.3 Fabricated bent SiN waveguide

[1] A. Noriki et. al., J. Lightwave Technol., 38, 3147-3155 (2020).

[2] Y. Okada et. al., IEEE Conference Proceedings 2021(ICSJ) 108-109(2021).

顕微サーモグラフィによる半導体レーザの直接温度計測

Direct Measurement of Semiconductor Laser Diodes by Thermo-Microscope

東京理科大¹, 産総研² ○(M2)谷口 清人^{1,2}, 板谷 太郎², 前田 譲治¹, 乗木 暁博², 天野 建²Tokyo University of Science¹, AIST²,○Kiyoto Tanigushi^{1,2}, Taro Itatani², Joji Maeda¹, Akihiro Noriki², Takeru Amano²

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

【はじめに】一枚の基板上にスイッチ ASIC と光トランシーバが実装される Co-Packaged Optics (CPO) では 半導体レーザ光源の集積化が期待されている。CPO に組み込まれる光源は、実装基板上的電気系 IC に隣接して高温環境で駆動することになるため、放熱が十分でない場合、信頼性の低下や特性の劣化が課題となっている。我々は、光源の動作温度の低下に向けて、半導体レーザの薄膜化による熱抵抗の低減や、活性層と PCB との近接による放熱の促進などの手法を適用することにより、光源の温度低減の検討を進めている。本研究では、空間解像度 $10\mu\text{m}$ 以下の高解像度の顕微サーモグラフィを用いて、半導体レーザの温度分布を直接計測し、実装状態における各部位の温度分布の評価を行った。

【実験】測定対象は、市販の InP 系光通信用レーザであり、電流駆動の状態における顕微サーモグラフィによる温度分布の観測を行った。観測場所は、上部ストライプ領域、上部電極領域、光の出射されるチップ端面の 3 か所を代表的な領域として、各領域の温度分布の比較を行った。測定結果を図 2 に示す。注入電流が 20mA の条件では、上部のストライプ領域の温度が 48.6°C 、上部電極領域の温度が $45.^\circ\text{C}$ であった。最も温度の高い領域は、上部ストライプ領域であり、半導体レーザの内部共振器領域に対応し、電流注入によるレーザ発振領域に相当する。

【まとめ】高解像度の顕微サーモグラフィを用いた半導体レーザの動作状態の温度分布の直接計測を行った。電流注入領域のストライプ領域の温度上昇を明確に観測出来た。この温度上昇は、再結合電流、電極のコンタクト抵抗などの条件を反映したものであり、CPO における高密度実装において、実装デバイスの熱設計や、実装基板の放熱構造の最適化に向けた有効な評価手段となることが期待される。

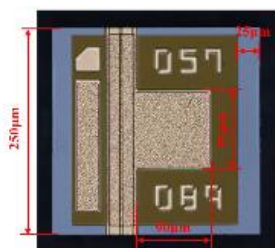


Fig. 1 Image of the LD chip

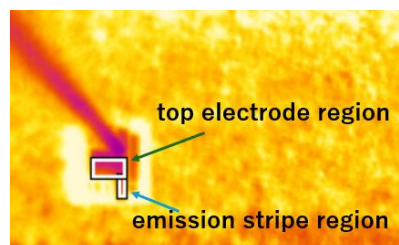
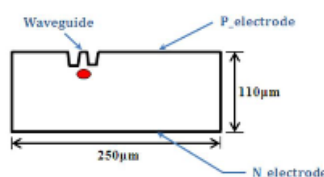


Fig. 2 Thermo-image of the LD chip

汎用 RIE 装置を用いた CORE シリコンエッチング技術の開発 - マスク材の影響について - Development of a CORE Silicon Etching Technique Using General-Purpose RIE Equipment: Influence of Mask Material

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】シリコン深堀り技術は加速度センサ、アクチュエータなどの MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスに欠かせない技術である。前回、デンマーク工科大 (DTU) が開発した、BOSCH 法におけるフルオロカーボン保護膜を SiO_2 に置き換える CORE 法¹⁻³を、汎用 RIE 装置で実施した場合に実現可能なシリコン加工形状について報告した⁴。この際、エッチングマスクとして、フォトレジストのみを使用したため、最大エッチング深さは $1.9\ \mu\text{m}$ に留まった。今回は、よりアスペクト比が高い構造を得るため、 SiO_2 、Cr、 SiO_2/Cr をエッチングマスクとして比較検討した結果を報告する。

【実施方法】 SiO_2 マスクは、シリコンウエハ ((100), non-dope) 上にスパッタ法で SiO_2 成膜した後に、フォトレジスト AZ Mir701 でパターンを形成し、ICP-RIE 装置 (RIE-101iPHJ, SAMCO) を用いて SiO_2 層にパターン転写することによって得た。Cr マスクは、PMGI/IX1025 2 層フォトレジストをマスクとして、EB 蒸着した Cr 層をリフトオフして得た。 SiO_2/Cr 2 層マスクは、 SiO_2 を成膜した後、前述のリフトオフ法で Cr マスクを形成し、Cr 層をマスクとして ICP-RIE 装置で SiO_2 層にパターンを転写して形成した。CORE プロセスは SAMCO 製 RIE-200NL で行った。

【結果】 SiO_2 、Cr、 SiO_2/Cr いずれの場合も、フォトレジストをマスクとした場合よりも高アスペクト比構造が得られたが、側壁の平滑性に差異が生じた。 SiO_2 はフォトレジストより高いプラズマ耐性を有するものの、R、E ステップで発生する F ラジカルと反応するため、マスクのエッジが後退し、Si 側壁に縦方向のエッチング痕が多数生じた。Cr のみをマスクとして用いた場合は、Si 側壁の平滑性は向上したものの、依然として縦方向のエッチング痕が発生した。これは、プラズマ内に多く含まれる電子が Cr マスクエッジに蓄積され⁵、そのマイナス電荷に SF_5^+ 等のプラスイオンが誘引され、Si 側壁に衝突するために発生したと考えている。Cr 層と Si の間に SiO_2 層を設けた場合は、Cr マスクに誘引されたプラスイオンに対する防護壁として働き、平滑なシリコン側壁が得られた。

1. ECS J. Solid State Sci. Tech. 9, 024002(2020), 2. JVST A, 38, 053002(2020), 3. JVST A, 38, 043004(2020), 4. 第 72 回春季応物 15a-K205-8, 5. JVST B, 38, 012207 (2020)

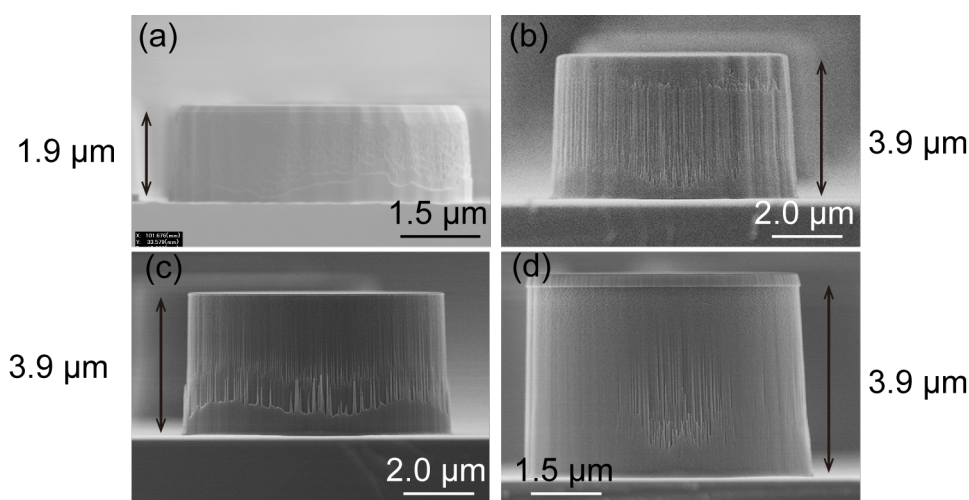


Fig. 1 The difference in etching shapes caused by the mask material. (a) after 50 cycles of the CORE process shown in the previous report⁴; (b)-(d) after 120 cycles. (a) photoresist Mir701, (b) SiO_2 400 nm, (c) Cr 100 nm, (d) Cr 100 nm / SiO_2 200 nm

N⁺照射により形成したアモルファス化 Si エッチングマスクの KOH エッチングに対するエッチング速度のイオンエネルギー依存性 Dependence of Etching Rate on Ion Energy for KOH Etching of Amorphized Si Etching Mask Formed by N⁺ Irradiation

Science Tokyo RIM 機構 ○佐藤美那, 遠西美重, 松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo.

○Mina Sato, Mie Tohnishi and Akihiro Matsutani

E-mail: sato.m.ff28@m.isct.ac.jp

我々はこれまで Si の KOH エッチングにおいて、イオンの照射により作製したアモルファス化マスクで高いエッチングレート比を得られることを示してきた[1, 2]. 特に Si(100)面に 500 eV の N⁺照射によりアモルファス化したマスクを用いることで高さ 30 μm を超える Si 構造体を作製できた. マスクに対する Si のエッチングレート比は高く, 3000 以上と見積もられた. そこで本発表では, 30 μm を超える Si 構造体の作製を目指し, より高エネルギーの N⁺照射の利用した実験の結果を報告する.

図 1 に本実験で使用したアモルファス化マスクの概略図を示す. Si 基板のイオン照射した範囲はアモルファス化され, そのアモルファス化層は Si 単結晶に比べエッチングレートが小さいため, KOH 溶液に対するマスクとして作用し, 構造体を作製できる. しかしながら, KOH 溶液によるウェットエッチングを進めるとマスクがなくなり, 構造体の高さがエッチングを続けても変化しなくなり一定となる. 本実験ではその高さを h_s と定義した. 本実験では, フォトリソグレイによりパターンを作製した Si 基板に, ECR イオンシャワー装置(Elionix EIS-200ER))により N⁺イオンを照射し, Si(100)基板表面にアモルファス化層を作製した. 比較として Ar⁺を照射した基板も用意した. イオン照射条件は, 500, 750, 1000 eV とした. イオン入射角度は θ , ドーズ量は 5×10^{17} ions/cm² とした. イオン照射後レジストを除去し KOH 溶液(40 wt%, 20°C)に浸漬した. 図 2 に h_s の N⁺および Ar⁺のエネルギー依存性を示す. 1000 eV の N⁺照射では h_s が 140 μm に達し, 500 eV の N⁺照射の 3 倍以上の h_s が得られた. これは, イオンエネルギーの増加に伴い, イオンの飛程が大きくなり, アモルファス層が厚くなることで h_s が大きくなったと考えられる[1]. 本提案手法は, 従来のエッチングマスクとして用いられている絶縁膜(SiO₂ や SiN)を KOH エッチング後にフッ酸等で除去することなく導電性表面が得られ, 容易に陽極接合が可能となり, マイクロスケールのバイオチップ等に応用が期待される.

[1] M. Sato, M. Tohnishi and A. Matsutani, Sens, Mater. **34** (2022)37.

[2] M. Sato, M. Tohnishi and A. Matsutani, Sens, Mater. **36** (2024)1319.

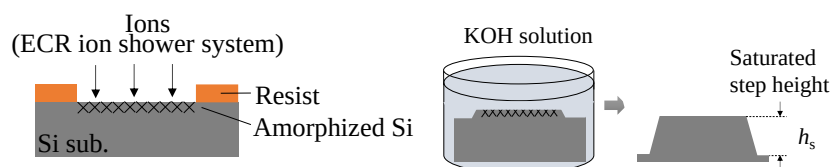


Fig.1. Schematic diagram of amorphized mask fabrication by ion irradiation and definition of h_s .

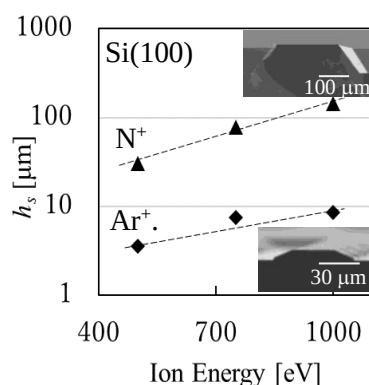


Fig.2. Relationship between h_s and ion energy of amorphized etching masks by N⁺ or Ar⁺.

SmCo 磁石で高密度化された RIE チャンバー内のプラズマ分布の観察 Observation of plasma distribution in a RIE chamber densified by SmCo magnets

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構

○遠西美重, 佐藤美那, 松谷晃宏

Research Infra Management Center, Institute of Science Tokyo.

○Mie Tohnishi, Mina Sato, and Akihiro Matsutani

E-mail: tohnishi.m.ab@m.titech.ac.jp

永久磁石によるプラズマの高密度化はマグネトロンスパッタで広く用いられている[1]。しかしながら、それらはターゲット直上でのドーナツ型のプラズマであり、広い面積の RIE に適用するには難しい。一方、永久磁石を RF 電極の対向に位置したプラズマの高密度化による InP エッチング[2]や、電極ホロー溝に永久磁石を設置した均一な高密度プラズマ源[3]が報告されているが、RF 電極の対向位置に永久磁石を設置した広い領域のプラズマ発光分布についてはほとんど検討されていない。

本研究では、RIE 装置の電極に対向するチャンバー蓋上へ永久磁石を同心円状に設置して Ar プラズマを発生させ、発光強度から広い領域におけるプラズマの高密度化を検討した。

図 1 に実験で用いた RIE 装置 (SAMCO RIE-101L) とチャンバー石英板上に置いた磁石の磁場分布を示す。磁石は直径 10 mm、厚さ 5 mm のサマリウムコバルト磁石 (300 mT/個) 8 個を用い、RF 電極の対向位置の石英板上に塩ビのパンチ板の穴に入れて固定した。磁場分布はテスラメータ (GOYOJO GT129B) で測定した。磁石の設置により磁石周辺の磁力線と RF 電極に囲まれた領域に荷電粒子が閉じ込められることによるプラズマの高密度化が期待できる。磁石の設置は、図 2(a) と 2(b) に示すように、8 個の磁石を直列に付けた配置と直径 100 mm の円周上への配置の 2 つのパターンとした。

図 3 に石英板上方向から撮影した Ar プラズマの写真とチャンバー中心を通る線における RGB 像の強度を示す。放電条件は、1 Pa, 30sccm, 100 W とした。いずれの磁石配置でもチャンバー中心で RGB 強度は増加したことから、マグネatron RF スパッタのようなドーナツ状のプラズマではなく、広い領域でプラズマが高密度化されたことがわかる。また、円周上に配置された弱い磁場と中心での強い磁場の高密度化への効果は、プラズマの発光強度の観測ではほぼ同等であると思われる。

本研究は科研費奨励研究 (25H00180) の助成により得られた成果である。

[1] 金原 稔, 真空 (2003) Vol. 46, No.10, p. 719. [2] A. Matsutani *et al.*, *Jpn.J.Appl.Phys.* (2004) 43, L960.

[3] M.Hossain *et al.*, *IEEE Transactions on Plasma Science*, (2018) Vol.46, No.8, pp. 2894-2900.

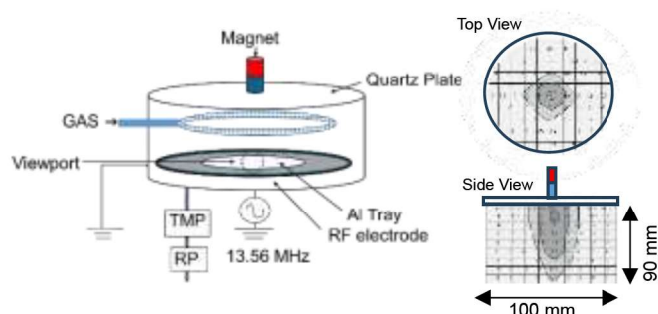


Fig.1 Schematic of RIE system and measurement result of magnetic flux density of magnet placed at the center of top plate.

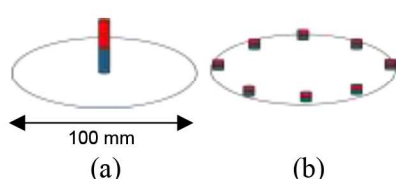


Fig.2 Schematic of magnet arrangement on a quartz plate.

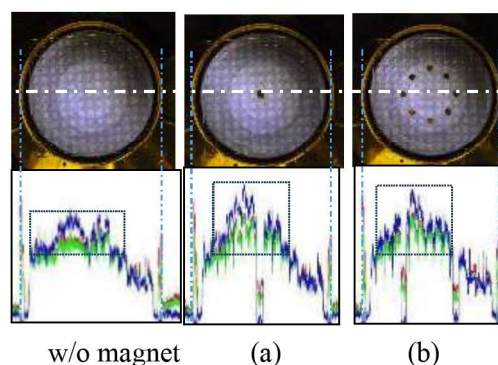


Fig.3 Photo images of plasma emission and RGB intensity w/o and with magnets pattern (a) and (b). (Top view)

1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology | Oral presentation : 1.4 Energy conversion, storage, resources and environment

[7p-N406-1~12] 1.4 Energy conversion, storage, resources and environment

[7p-N406-1]

Thermal Analysis of Large-Format Prismatic Lithium-ion Battery

OLIZHU TONG¹, Keishu Arita¹ (1.Keisoku Eng. Sys.)

[7p-N406-2]

Few-Layered Mo₂Ti₂C₃T_x-MXene/MoS₂ Heterostructures as an Efficient Anode for Lithium-Ion Batteries

OSengottaiyan Chinnasamy¹, Masanori Hara¹, Masamichi Yoshimura¹ (1.Toyota Tech. Inst.)

[7p-N406-3]

Enhancing Thermoelectric Conversion via Structural Engineering: Ductile Ag Chalcogenide-Based Stair-Shaped FTEG

O(P)Suresh Prasanna Chandrasekar^{1,2}, Musaddiq Al Ali¹, Artoni Kevin R. Ang^{1,2}, Masaharu Matsunami¹, Tsunehiro Takeuchi^{1,2} (1.Toyota Technological Institute, 2.JST Mirai)

[7p-N406-4]

Impact of the surface energy of the layered Na_{2/3}Mn_{2/3}Ni_{1/3}O₂ on the structural stability at higher state of charge

ORiki Kataoka¹, Yukichika Kitano², Kohei Tada², Nobuhiko Takeichi¹ (1.AIST, 2.Osaka Univ)

[7p-N406-5]

Nontrivial temperature dependence of shift current observed in DAST derivatives

OAndrew Harold Gibbons^{1,2}, Gurvan Bosser³, Masao Nakamura^{2,3,6}, Naoki Ogawa^{2,3}, Yoshinori Tokura^{3,4,5}, Satoshi Okamoto^{1,2} (1.Sumitomo Chemical, 2.RIKEN BZP, 3.RIKEN CEMS, 4.Univ. of Tokyo, 5.Tokyo College, 6.Tohoku University)

[7p-N406-6]

Effect of Fullerene-Based Functional Derivatives in Sn-Perovskite Solar Cells

ODHRUBA B KHADKA¹, Aman Shukla^{1,2}, Chunqing Li³, Masahiro Rikukawa³, Yuko Takeoka³, Ryoji Sahara¹, Masatoshi Yanagida¹, Yasuhiro Shirai¹ (1.National Institute for Materials Science, 2.IIT Kanpur, 3.Sophia University)

[7p-N406-7]

Electron delocalization and photoelectric conversion spreading to ITO NPs layered films

ONagisa Matsumoto¹, Kato Takehito² (1.MAS, 2.NIT, Oyama College)

[7p-N406-8]

Si K-edge EXAFS Analysis of Cs-Intercalated Weathered Biotite

O(M2)Yumeno Masebo¹, Kosetsu Hayakawa^{1,2}, Mitsunori Honda², Masato Oda³, Rina Yabuta³, Hiroyuki Ishii⁴, Masakazu Muraguchi¹ (1.Hokkaido Sci. Univ., 2.JAEA, 3.Wakayama Univ., 4.Univ. of Tsukuba)

[7p-N406-9]

In-situ FTIR Measurements and Estimation of Reaction Kinetics in the Hydration Reaction of Thermochemical Heat Storage Materials

○Kunihiko Shizume¹ (1.Nagoya Inst. of Tech)

[7p-N406-10]

Surface modification of Cu electrodes using AgSO₄ for electrochemical CO₂ reduction

○(D)Kazuki Koike^{1,2}, Takeharu Murakami², Kentaro Inoue¹, Takayo Ogawa², Katsushi Fujii², Satoshi Wada², Atsushi Ogura^{1,3} (1.Meiji Univ., 2.RIKEN RAP, 3.MREL)

[7p-N406-11]

Effect of differences in cathode initial state on reaction in CO₂ reduction reaction using a zero-gap (MEA) type cell

○Kei Morishita¹, Murakami Takeharu¹, Takeshi Matsumoto¹, Takayo Ogawa¹, Katsushi Fujii¹, Satoshi Wada¹ (1.RIKEN)

[7p-N406-12]

Development of a CO₂ capture system based on anion exchange membrane fuel cell

○Kentaro Inoue¹, Kazuki Koike^{1,2}, Takeharu Murakami², Kei Morishita², Takayo Ogawa², Katsushi Fujii², Satoshi Wada², Atsushi Ogura^{1,3} (1.Meiji Univ., 2.RIKEN RAP, 3.MREL)

大型角形リチウムイオン電池の熱分析

Thermal Analysis of Large-Format Prismatic Lithium-ion Battery

計測エンジニアリングシステム ○佟 立柱, 有田 圭秀

Keisoku Eng. Sys. ○Lizhu Tong, Keishu Arita

E-mail: tong@kesco.co.jp

現在、電気自動車やハイブリッド自動車において、動力源である二次電池としては高エネルギー密度の観点でリチウムイオン電池が最も応用されているが、電池の大型化、用途の多様化が進む流れの中で、高安全化技術の確立は重要な課題である。ここでは、マルチフィジックス解析ツールCOMSOL Multiphysics®の集中電池モデルによる大型角形リチウムイオン電池の熱分析を行った。走行時の負荷変動や回生充電を含んだISOのサイクル寿命試験用の放電プロファイル[1]に基づいて、角形リチウムイオン電池の熱分析の3Dモデルを構築した。この角形リチウムイオン電池の容量は25 Ahであり、正極をNMC ($\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$), 負極をグラファイト, 電解質を LiPF_6 (EC: EMC=3:7)とする。集中電池モデルの電圧 E_{cell} は次の式で定義される。

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{eq,pos}}(\chi_{\text{pos}}, T) - E_{\text{eq,neg}}(\chi_{\text{neg}}, T) + \eta_{\text{IR}} + \eta_{\text{act,pos}} - \eta_{\text{act,neg}} + \eta_{\text{conc,pos}} - \eta_{\text{conc,neg}} \quad (1)$$

ここで、 E_{eq} は電極の平衡電位、 χ はリチウム化度、 T は温度、 η_{IR} 、 η_{act} および η_{conc} はそれぞれ抵抗分極、活性化分極および濃度分極である。下付き文字posとnegはそれぞれ正極と負極を意味する。

図1は放電後726 sの時のリチウムイオン電池の温度分布および電極端子温度の時間変化である。初期温度は20℃、初期SOC(充電状態)は0.85であり、電池ケース底部の温度を20℃と設定した。放電において電池のSOCが0.85から0.5まで減少され、電池の温度は726 sの時に最大27.6℃になった。電極端子温度の時間変化は試験結果[1]とおおよそ一致したことが示された。

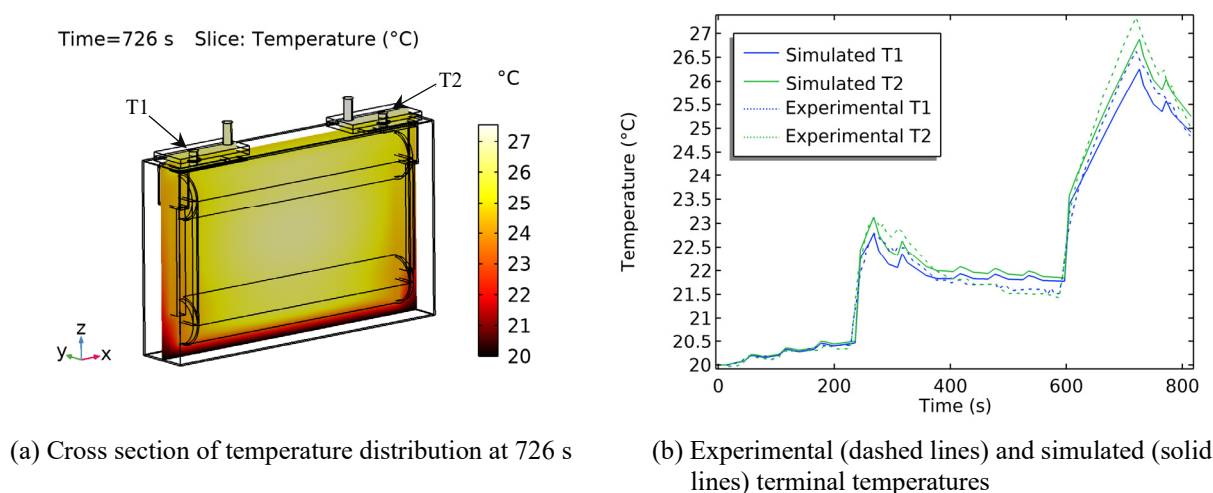


Figure 1. Simulation results of a large-format prismatic lithium-ion battery.

参考文献

- [1] H. Lundgren, P. Svens, H. Ekström, C. Tengstedt, J. Lindström, M. Behm, G. Lindbergh, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 163, No. 2, A309–A317 (2016).

Few-Layered $\text{Mo}_2\text{Ti}_2\text{C}_3\text{T}_x$ -MXene/ MoS_2 Heterostructures as an Efficient Anode for Lithium-Ion Batteries

Toyota Technological Institute, °Chinnasamy Sengottaiyan, Masanori Hara, Masamichi Yoshimura

E-mail: sengottaiyanphy@gmail.com

MXenes have been attracting attention as next-generation materials due to the combination of metal and carbon showing high structural stability.[1,2] In particular, bimetallic with carbide MXenes exhibit excellent chemical stability and structural retention in electrochemical devices, including batteries that require high-rate operation.[1] However, obtaining MXenes with few layers and large size remains a practical challenge (**Figure 1a**), and there are limitations to their application in terms of synthesis scalability and morphology control. On the other hand, MoS_2 is a promising anode material (**Figure 1b**) with a high capacity but disparate structural and chemical stability during cycling. Combining MoS_2 with MXene (**Figure 1c**) has improved the structural stability at the interface, and the electron and ion transport pathways help to improve the high-capacity anode material. The $\text{MoS}_2/\text{MXene}$ electrode shows a high discharge capacity of about 1100 mAh g^{-1} , which is significantly better than that of MXene (380 mAh g^{-1}) and MoS_2 (675 mAh g^{-1}). MXene has high electrical conductivity, and its intimate contact with the MoS_2 layer might have improved the efficiency of electron transfer, while the interface formed by the heterostructure may reduce the diffusion barrier of lithium ions. In this study, we are observing the detailed studies based on long-term cycling tests and post-mortem investigation to elucidate the better reaction mechanism.

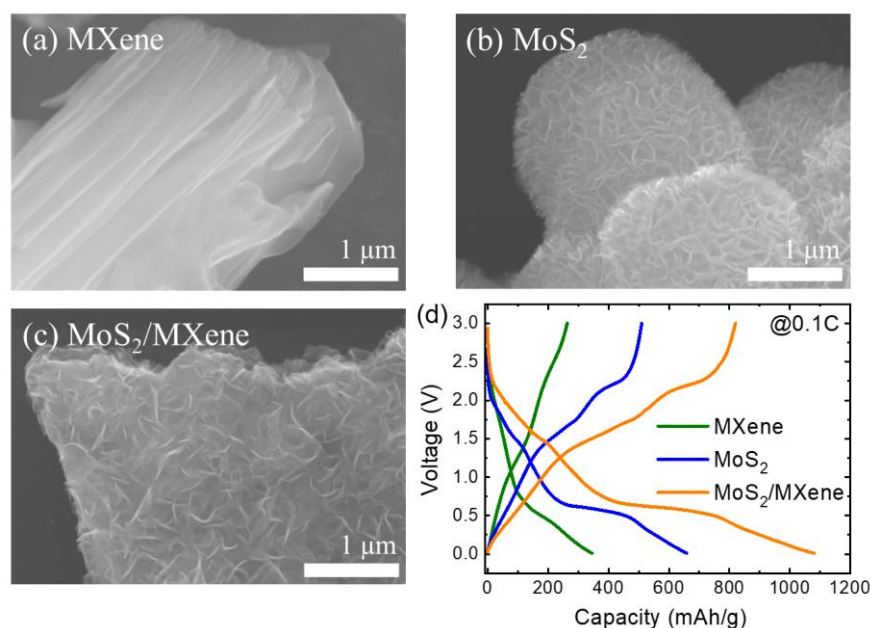


Figure 1: SEM images of (a) MXene, (b) MoS_2 , and (c) $\text{MoS}_2/\text{MXene}$ composite. (d) Charge-discharge capacities of prepared electrodes.

References: [1] Dayakar Gandla et al. *Small*, 2024, 2404880. [2] Zeyu Yuan et al. *ACS Nano*, 2021, 7439.

Enhancing Thermoelectric Conversion via Structural Engineering: Ductile Ag Chalcogenide-Based Stair-Shaped FTEG

Toyota Tech. Inst.¹, JST- MIRAI², °Suresh Prasanna C^{1,2}, Musaddiq Al Ali¹, Artoni Kevin R. Ang^{1,2}, Masaharu Matsunami¹, Tsunehiro Takeuchi^{1,2}

E-mail: c-s-prasanna-24@toyota-ti.ac.jp

Abstract

Flexible thermoelectric generators (FTEGs) are at the forefront of powering next-generation wearable and self-sustained electronic devices. In this work, we report the design and fabrication of a novel stair-shaped FTEG architecture utilizing ductile Ag-chalcogenide-based thermoelectric materials for both *n*-type and *p*-type legs.

The inherent ductility of the material at room temperature allows us to fabricate a 0.2 mm-thick flexible free-standing film via simple mechanical rolling. As shown in Fig. 1, the unique stair-step geometry offers a transformative approach by redirecting the natural out-of-plane heat flow into the in-plane direction, enabling a significantly higher effective temperature gradient (∇T) across the thermoelectric legs without the need for external heat concentrators or structural modifications. The heat flow and its associated output power in the proposed stair-shaped FTEG were optimized using finite element analysis via COMSOL Multiphysics, which revealed a promising output power coupled with an effectively high thermal gradient.

The preliminary results on fabrication of such a device with only *n*-type TE leg exhibited an appealing output power of $5.7\mu\text{W}$ at a ∇T of $\sim 20\text{ K}$ with a normalized power density of $0.017\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2\text{K}^2$. These findings highlight the potential of our design strategy for advanced self-powered wearable electronic applications.

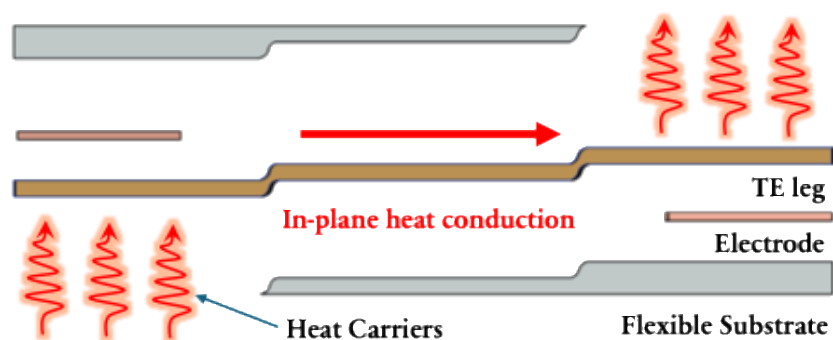


Fig. 1. Schematic representation of stair-shaped FTEG

高 SOC 下における $\text{Na}_{2/3}\text{Mn}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ の構造安定性に及ぼす表面エネルギーの影響

Impact of the surface energy of the layered $\text{Na}_{2/3}\text{Mn}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ on the structural stability at higher state of charge

産総研¹, 阪大院基礎工², [○]片岡理樹¹, (M1)北野幸親², 多田幸平^{1,2}, 竹市信彦¹

AIST.¹, Osaka Univ.², [○]Riki Kataoka¹, Yukichika Kitano², Kohei Tada^{1,2}, Nobuhiko Takeichi¹

E-mail: riki-kataoka@aist.go.jp

【はじめに】

P2 型構造を有する $\text{Na}_{2/3}\text{Mn}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ は可逆容量 170 mAh/g、平均電位 3.6 V(vs.Na/Na⁺)と容量と電位のバランスに優れた Na 正極材料であるが、一方で、高電位で生じる層構造の変化による耐久性の低下が課題となっている¹⁾。これまでの我々の研究において、 $\text{Na}_{2/3}\text{Mn}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ の結晶性を低下させることで高電位での層変化を抑制できることを報告している²⁾。本発表では、結晶子サイズの異なる $\text{Na}_{2/3}\text{Mn}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ を作製し、それぞれの充放電特性と結晶子サイズとの関係について比較するとともに、結晶子の微細化に伴う表面エネルギーの変化と構造安定性に関して検討を行った。

【実験】

固相焼成によって $\text{Na}_{2/3}\text{Mn}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ を作製し、その後遊星型ボールミル(Fritsch, P-6)で 200-500 rpm でミリング処理し低結晶性試料を得た。得られた試料をアセチレンブラック、バインダーと重量比で 93:5:2 となるように混合して作製したシートを Al 箔に塗布乾燥して電極とした。作用極に作製後の電極、対極を Na 箔、電解質に 1M NaPF₆/EC-DEC を用いたコインセルを作製し電極特性を評価した。試料の結晶構造は、XRD (Rigaku UltimaIV, Cu K α , スペクトリス X' pert Pro, Mo K α)を用いた。また、電子状態の評価に密度汎関数理論を用いた第一原理計算プログラム (VASP)により検討した。

【結果】

図 1 には各種条件でボールミルした試料の XRD プロファイルを示す。ミリング速度が大きくなるにつれて XRD ピークの広がり確認された。250 rpm 以上のミリング速度では、10 nm 以下の結晶子サイズとなることが確認された。図 2 に各試料の初回の充放電極線を示す。焼成試料では $\text{Na}_{2/3}\text{Mn}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{O}_2$ の P2 構造からの層転移が生じる 4V 付近のプラトーが確認できるが、結晶子が微細な試料ではなだらかなスロープ状のプロファイルとなっていることがわかり、微細化によって P2 構造を維持したまま Na の挿入脱離が進行していることを示している。各試料の充放電過程における構造変化、表面エネルギーの計算結果等の詳細については当日報告する。

【参考文献】 (1)B. Mortemard de Boissed et.al. *Inorg. Chem.*, **53**, 11197-11205(2014). (2) R. Kataoka et al., *Batteries and Supercaps.*, **6**, e202200462 (2022).

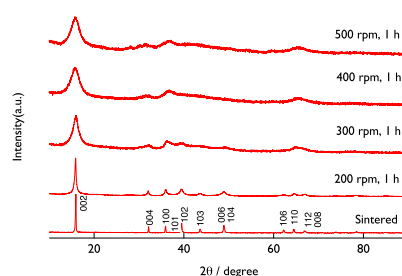


Fig.1 XRD profiles of prepared

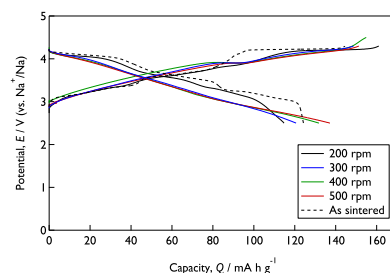


Fig.2 Initial Charge and Discharge profiles of prepared samples

Nontrivial temperature dependence of shift current observed in DAST derivatives

Sumitomo Chemical Co., Ltd.¹, RIKEN BZP², RIKEN CEMS³, Univ. of Tokyo⁴, Tokyo College⁵, Tohoku University⁶, [○]A.H. Gibbons^{1,2}, G. Bossert³, M. Nakamura^{2,3,6}, N. Ogawa^{2,3}, Y. Tokura^{3,4,5}, S. Okamoto^{1,2}

E-mail: gibbonsa@sc.sumitomo-chem.co.jp

Since the shift current is a current with almost no energy dissipation, it is expected to significantly improve the photoelectric conversion efficiency. Shift currents have been reported mainly in non-centrosymmetric inorganic materials, particularly ferroelectrics, topological insulators etc., but there have been few reports of shift currents in organic materials [1,2].

In this report, we present our study of shift currents in organic nonlinear optical (NLO) materials, which are non-centrosymmetric. Among organic NLOs, DAST (4-N,N dimethylamino -4'-N'-methyl -stilbazolium tosylate) is one of the most well-known organic nonlinear optical material. There have been several reports on the photocurrent of DAST single crystals, but so far none of them have observed a shift current, which is the photocurrent at zero bias [3,4].

We have succeeded for the first time in observing a shift current in single crystals of DAST and its derivatives. We also found that this shift current is a nontrivial phenomenon that increases exponentially with temperature. In this presentation, we will also report the results of our investigation into the mechanism behind this phenomenon.

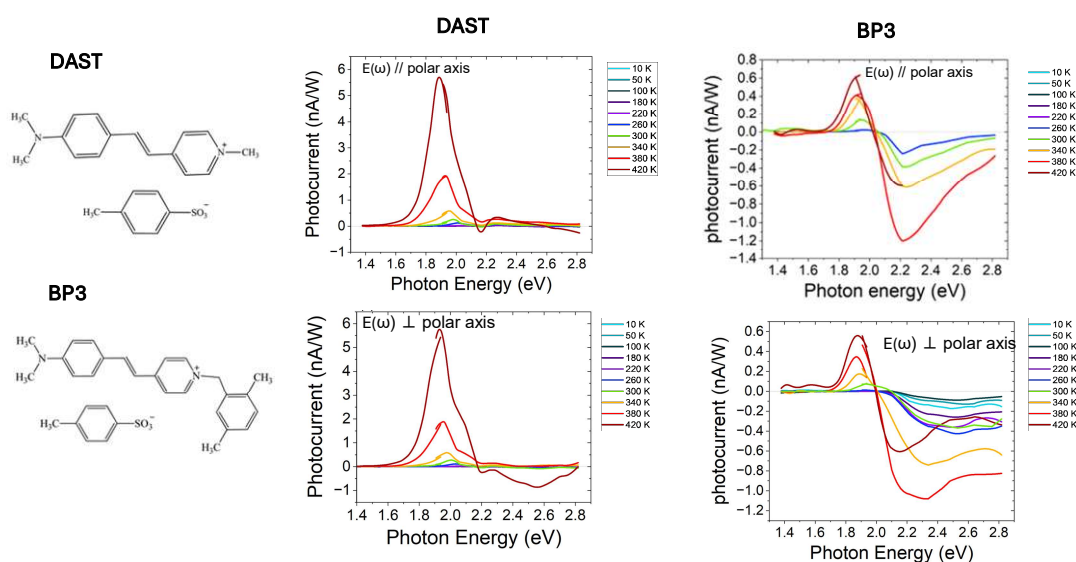


Figure 1. Chemical structure and temperature dependence of zero bias current of DAST and BP3.

- [1] C. Zhang *et al.*, *JACS*, **142** 3326-3330 (2020).
- [2] M. Nakamura *et al.*, *Nature Communication* **8** 281 (2017).
- [3] S. Follonier *et al.*, *Opt. Lett* **21**, 1655 (1996).
- [4] X.D-Gang *et al.*, *Chinise Phys. B* **28**, 127701 (2019).

Effect of Fullerene-Based Functional Derivatives in Sn-Perovskite Solar Cells

Dhruba B. Khadka,^{1*} Aman Shukla,^{1,2} Chunqing Li,³ Masahiro Rikukawa,³ Yuko Takeoka,³ Ryoji Sahara,⁴ Masatoshi Yanagida,¹ Yasuhiro Shirai,¹

¹Photovoltaic Materials Group, National Institute for Materials Science (NIMS), Japan. ²Indian Institute of Technology Kanpur, India. ³Sophia University, Japan. ⁴Computational Structural Materials Group, NIMS, Japan

E-mail: KHADKA.B.Dhruba@nims.go.jp

Tin-based perovskite solar cells (Sn-PSCs) offer a promising lead-free alternative for photovoltaic applications. Yet, their practical deployment is hindered by the oxidation of Sn^{2+} to Sn^{4+} , which introduces structural defects and degrades device performance and stability.^{1–3} In this study, a series of fullerene-based multifunctional molecules: F-COOH, F-OH, and F-OSO₃H were employed as additives to interact with Sn^{2+} ions and stabilize tin in its reduced state.⁴ Among the tested additives, F-COOH proved most effective in suppressing Sn^{4+} formation and reducing non-radiative recombination losses. Incorporating F-COOH led to a notable improvement in device efficiency, increasing from 8.20 to 11.22%, along with enhanced reproducibility and operational stability. Although additives containing –OH and –OSO₃H groups also contributed to performance gains, the superior effectiveness of F-COOH is attributed to the strong localized electron density of the –COOH group. This work highlights the critical role of functional group selection in the molecular design of additives and provides a viable strategy for advancing efficient and stable lead-free perovskite solar cell technologies.

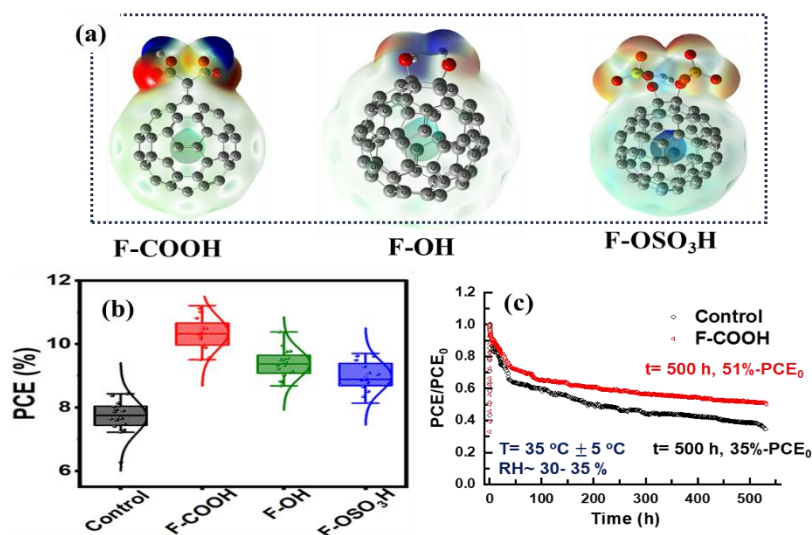


Figure. Fullerene derivatives with different functional groups (-COOH, -OH, -OSO₃H) (a), Effect of Fullerene functional derivatives on tin perovskite solar cell (b), and device stability.⁴

References:

- 1 D. B. Khadka et al. *Solar RRL*, 2023, **7**, 2300535.
- 2 D. B. Khadka et al. *Chemistry of Materials*, 2023, **35**, 4250–4258.
- 3 D. B. Khadka et al. *ACS Appl Energy Mater*, 2021, **4**, 12819–12826.
- 4 A. Shukla et al. *J Mater Chem A Mater*, DOI:10.1039/D4TA08566C.

ITO ナノ粒子積層膜にも拡張される電子の非局在化現象と発電挙動

Electron delocalization and photoelectric conversion spreading to ITO NPs layered films

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：

2023 年の秋の学会にて銀ナノ粒子の積層膜において、スピルアウトした波動関数同士が重なり、量子ドット超格子構造におけるミニバンドに似通った状態が生じることで電子の局在状態が解かれて非局在化する現象を報告した。これは湯川秀樹博士が提唱した同定理論を用いると量子ドットと金属ナノ粒子が『同定』されることを示唆する。そこで、金属ナノ粒子に近い挙動を示す ITO ナノ粒子に現象が拡張されること、銀ナノ粒子積層膜では既に光電変換素子としての可能性が見出されていることから、ITO ナノ粒子でも同様に成立することを検証することとした。

2. 実験と結果：

初めに ITO ナノ粒子分散液として大研化学工業製の DLIT-003(850°C加熱残量 27.6wt%)の原液を 2000rpm でスピンさせたガラス基材に対して 100 μ L 滴下し、100°C-5 分温風乾燥して溶剤を揮発させた積層膜サンプルを得た。反射透過スペクトルを測定し、先行研究[1]で見られた 2 μ m 付近の双極子モードのプラズモンカップリングが消失していることを、FE-SEM で焼結せずに独立状態であること(fig.1)を夫々確認し、銀ナノ粒子積層膜同様に電子が非局在化と判断した。

ITO 蒸着ガラスを基材に、ETL は Aldrich 酸化亜鉛ナノインク、チタン(IV)エトキシド(以下 TiOEt)、ITO ナノ粒子、HTL は FK-209 を 4.5wt% 添加してモノラジカル化した spiro-MeOTAD、有機電極として PEDOT:PSS をそれぞれ用いた。まず基本形として ITO /ZnO /TiOEt /ITONPs /PEDOT の構成で AM1.0 条件にて I-V カーブ測定を実施。0.1 μ A/cm² に満たないものの短絡電流を観測した。続いて ITO /ZnO /TiOEt /ITONPs /spiro-MeOTAD /PEDOT とした場合、0.15 μ A/cm² の短絡電流値が確認された。これらの発電挙動を調べるために分光感度測定機(分光計器株式会社 CEP-2000RS)にて EQE の測定を実施した(fig.2)。

3. 考察：

EQE の結果から ITO ナノ粒子は銀ナノ粒子同様にバンド間遷移 $\sim$ 3.7eV に対応したピークが出現により、バンド間遷移からの電荷注入により発電していることが予想される。先の結果も含め、既知のプラズモン誘起電荷分離による ITO ナノ粒子の透明光電変換素子[2]とは異なり、銀ナノ粒子積層膜の光電変換素子に一致する。更にバンド間遷移と生じたホールがトンネリングして拡散するメカニズムは量子ドットにおける Type II 励起子との類似性も挙げられる。

金属ナノ粒子、導電性酸化物ナノ粒子、量子ドットの 3 者は『ナノ構造への閉じ込め』に起因して夫々の特異な現象を示す。それこそが 3 者を『同定』するコアと考え、その視点での理論の相互変換、相合的な発電の議論のきっかけに繋がっていくことを期待したい。

[1] *ACS Applied Materials & Interfaces* 2022, 14, 43, 49313-49325 (Surfaces, Interfaces, and Applications)

[2] *Nature Communications*, volume 10, Article number: 406 (2019)

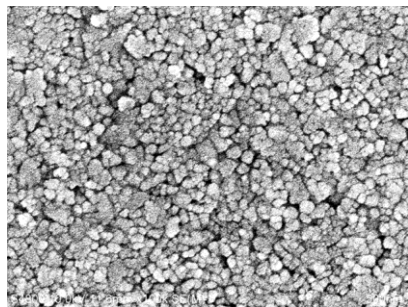


Fig.1 FE-SEM observation (100,000x)

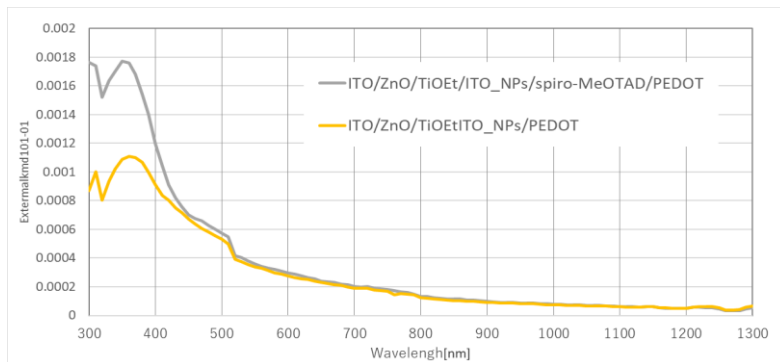


Fig.2 EQE measurement results for the element

Cs インターカレーションした風化黒雲母の Si K 吸収端 EXAFS 解析

Si K-edge EXAFS Analysis of Cs-Intercalated Weathered Biotite

北科大¹, 原研², 和歌山大³, 筑波大⁴ [○](M2) 馬酔木 ゆめの^{1,2}, 早川 虹雪^{1,2},本田 充紀², 小田 将人³, 籾田 莉名³, 石井 宏幸⁴, 村口 正和¹Hokkaido Univ. of Sci.¹, JAEA², Wakayama Univ.³, Univ. of Tsukuba⁴, [○]Yumeno Masebo¹,Kosetsu Hayakawa², Mitsunori Honda², Masato Oda³, Rina Yabuta³, Hiroyuki Ishii⁴,Masakazu Muraguchi¹

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

現在我々は、環境調和型材料として期待される層状ケイ酸塩鉱物の一種である風化黒雲母 (WB) に着目している[1]。WB は、Si-O からなる四面体シートと、Al、Fe、Mg、O からなる八面体シートが交互に積層した層状構造を有しており、層間にアルカリ金属イオン (Cs⁺、K⁺など) を選択的に取り込む特徴を持つ。本研究では、熔融塩法により WB の層間に Cs⁺ をインターカレーションさせ、Cs 吸着量が 5.07wt% の試料を作製した(図 1)。これまでに、蛍光 X 線法による組成分析、X 線回折法による構造分析を組み合わせ、層構造を保ったまま、Cs を層間へ挿入出来ていることを確認している。また、放射光を用いた X 線吸収端近傍構造(KEK PF BL-28 を使用)の解析を行い、Cs 吸着により、四面体シートを構成する Si 付近にも影響が表れる可能性を明らかにしてきた[2]。

本研究では、Cs⁺ インターカレーションによる WB の基本骨格となる Si の局所構造変化を評価するため、Si K 吸収端 (1810-2110eV) における EXAFS の測定を実施し、フーリエ変換スペクトルを解析した (図 2)。その結果、r 空間において、約 1.5Å 付近に Si-O 結合由来と考えられるピークが観測され、Cs 吸着に伴う局所構造変化が示唆された。さらに、Cs 未吸着 WB との比較により、Cs⁺ のインターカレーションが WB の Si 周囲の構造に与える影響について検討した。本発表では、これらの EXAFS 解析結果をもとに、WB の構造変化と Cs 吸着メカニズムの関連性について報告する。

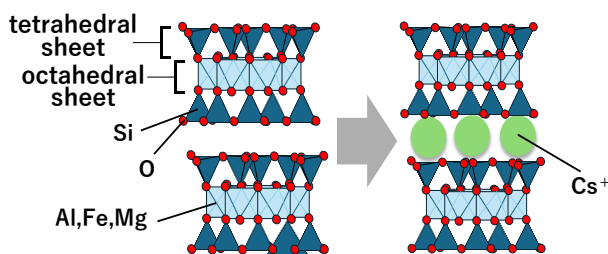


Fig1: Schematic diagram of the basic structure of Weathered Biotite (WB) and Cs⁺ intercalation into its interlayer spaces.

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

[2] Y. Masebo et al., ISSS-10, 2P14.

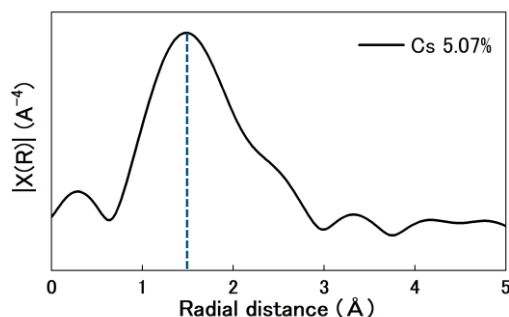


Fig2: Fourier-transformed Si K-edge EXAFS spectrum in r-space (Cs : 5.07 wt %).

水和反応過程の in-situ 吸収スペクトル測定に基づく 化学蓄熱材の水和反応速度の評価

In-situ FTIR Measurements and Estimation of Reaction Kinetics in the Hydration Reaction of Thermochemical Heat Storage Materials

名工大¹ ○鎮目 邦彦¹

Nagoya Inst. Tech.¹ ○K. Shizume

E-mail : shizume@nitech.ac.jp

【背景】化学蓄熱は、250 °C 以下の低温排熱を有効利用技術として注目されており、なかでも脱水・水和反応を利用する無機塩/H₂O 系は、安全・安価であることから広く検討されている。一方、低温域では水和反応速度が遅く、利用可能な反応系に限られることが課題である。近年、結晶構造データベースを用いたバーチャルスクリーニングによる材料探索が進んでいるが、反応温度や蓄熱密度は熱力学的に予測可能であるのに対し、水和反応速度の予測は困難であり、実験的な評価が不可欠である [1]。本研究では、顕微 FTIR および顕微ラマン分光法により水和反応速度を推定する手法の確立を目的とする。水和反応速度は通常、熱重量測定で評価されるが [2]、光学計測であればマッピング的に評価することが可能であり、ハイスループットな評価手法となり得る。

【実験方法】種々の無機水和物塩を加湿雰囲気を一に保った熱重量測定によって昇降温し、比較的速やかに脱水・水和反応が進行する材料を光学計測のモデル材料として選定した。水和反応過程の in-situ の光学計測のために温湿度を制御可能な顕微鏡用環境チャンバーを構築した。これを用いた顕微 FTIR とラマン分光法によって、水和反応過程におけるスペクトル変化を獲得した。

【結果】例として、多孔性材料である硫酸カルシウム(III)の脱水・水和反応における熱重量測定結果を Fig.1 に示す。60–120 °C を 1 °C/min で昇降温する間に、CaSO₄·0.5H₂O⇌CaSO₄(III)間の脱水・水和反応が完了することから、光学計測のモデル材料の 1 つとして選定した。Fig.2 に構築した顕微鏡用環境チャンバーで加湿ガスと乾燥ガスをスイッチングした際のチャンバー内水蒸気分圧の変化を示す。 $p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.0012 \text{ atm}$ の乾燥雰囲気から 10 分程度で $p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.015 \text{ atm}$ への加湿が可能であることを確認した。講演では、種々のモデル材料について、水和反応過程の in-situ 吸収スペクトルを取得し、統計解析によって水和反応速度を推定した結果について議論する予定である。

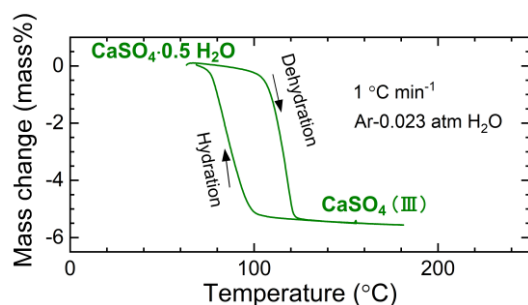


Fig.1 Dehydration/hydration behavior of CaSO₄·0.5H₂O obtained by thermogravimetry

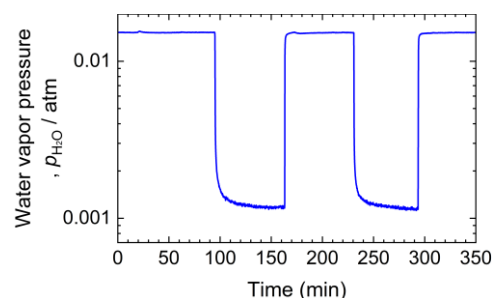


Fig.2 Humidity control performance of the microscope chamber

[1] Ritcher et al., *Thermochim. Acta*, **659** 136 (2018). [2] Shizume et al., *JMCA*, **6** 24956 (2018).

電気化学的 CO₂ 還元を用いる Cu 電極の AgSO₄ を用いた表面修飾

Surface modification of Cu electrodes using AgSO₄ for electrochemical CO₂ reduction

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

大気中の CO₂ 濃度削減のために大気中の CO₂ を回収して電気化学的に還元しエチレンやメタンなどの工業的に有用な物質に変換することが研究されている。電気化学的 CO₂ 還元の現在の問題点には、生成物の選択性がないこと、長時間の運転ができないことなどがある。生成物の選択性は、CO₂ を還元するカソード電極に使用する材料や反応時のカソード電位によって異なることが知られている。特に還元電極材料として金属を用いた場合、その種類や結晶面が生成物に影響する。Cu は、プラスチックの原料など工業的に有用な物質であるエチレンの生成効率が高いことから注目されている。しかし、生成物の制御はまだ十分ではない。先行研究では、Cu に Ag を付加することが提案されている[1]。また、電極の実効的な表面積を増加させて電流密度を向上させ、電解セルを小さくすることも実用化に向けて必要である。

我々は Cu 電極に AgSO₄ を用いて表面修飾する方法を考案した。Cu 電極を硫酸に浸漬し、硫酸中に AgSO₄ を少量添加することで自己組織的に Cu 電極表面が溶解し多数の穴ができ、さらに Ag の粒が Cu 電極表面を覆うような構造となる (図 1)。この方法は今まで研究されてきた電極表面積の向上と、Ag の添加を同時に行うことができ、電解セル全体での電流を増加させることができた。本発表では様々な条件で AgSO₄ を用いた表面修飾を行った Cu 電極の表面形状の評価と、CO₂ 還元を行った際の電極電位、生成物について紹介する。

[1] Y. Liu et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 13 (2021) 40513.

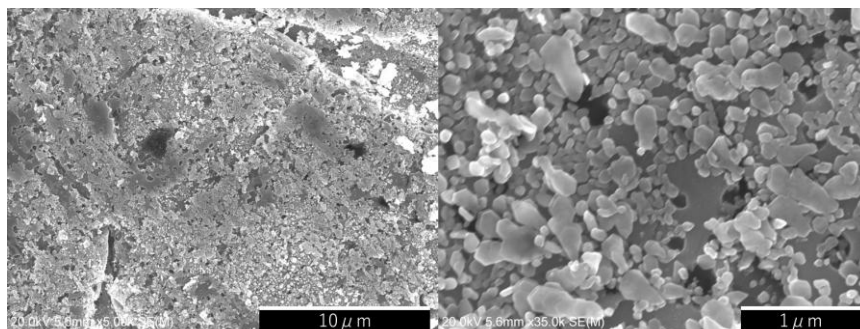


図 1 AgSO₄ を使用して表面修飾を行った Cu 電極の表面 SEM 像

ゼロギャップ(MEA)型反応器を用いた CO₂ 還元反応における カソード初期状態の違いが及ぼす反応への影響

Effect of differences in cathode initial state on reaction 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

電気化学的な CO₂ 還元反応 (CO₂RR) 技術は、カーボンネガティブを目指すことの出来る技術として注目されている。特にゼロギャップ型 (MEA 型) 反応器を使用することで印加電圧を下げる事が出来るため最も高いエネルギー効率が期待されるが、動作時間が短いことが課題となっている。この原因は、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現象、もしくは、アノライトが溶解限界を超えて塩として析出することで CO₂RR を行う Cu 反応面への CO₂ 供給が阻害されることにより、反応選択性が CO₂RR から水素生成反応 (HER) へと移行するためだと考えられる。

フラッディングや塩析出の抑制は通常 KHCO₃ 電解液を使用するアノライト濃度を下げることが効果的であることが知られている [1]。一方、我々の評価では 0.02 M 以下の KHCO₃ をアノライトとして使用し、反応初期にカソード膜表面の水分を除去した状態で定電流駆動 CO₂RR を行った場合は、使用する膜により電流が印加されないことがある。また、電流が印加できた場合でも反応開始直後に反応電位が上昇し、この上昇は 0.1 M 以上の KHCO₃ を使用した場合と比較して顕著である。

ゼロギャップ型セルでは CO₂RR が起こるカソードには液室が無く、カソード反応に必要な水及び HER 反応を阻害するのに重要とされる[2]アルカリ金属カチオン (K⁺) はアノードから供給される。この量は、アノライト K⁺濃度が低いほど減少する[3]。一方、反応開始時にはカソード側には何も添加しないのが通常である。これらのことを考慮すると、アノライトの K⁺濃度が低いと、カソードでの反応に必要な水や K⁺イオンの供給がとくに反応開始時に不足する可能性が示唆された。そこで、カソードの初期反応におけるこれらの物質の影響を確認するために、カソード膜表面の水分を極力除去した状態と、カソードに意図的に水もしくは K⁺イオンが存在する状態で電解反応をおこない、反応を比較した。実験の結果、カソードに初期から水及び K⁺イオンが存在することで、初期反応電位が上昇することなく CO₂RR が進行した。講演ではこの詳細について議論する。

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

[1] Kato, S, et al., ChemSusChem, 17 (2024) 22.

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

[3] 森下圭 et al., 2024 秋、応用物理学会 (第 85 回応用物理学会秋季学術講演会) 18p-C43-5 (2024. 09. 16 - 20)

アニオン交換膜型燃料電池を応用した CO₂ 回収装置の作成

Development of a CO₂ capture system based on anion exchange membrane fuel cell

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 ○Kentaro 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

アニオン交換膜(AEM)型燃料電池(FC)はプロトン交換膜(PEM)型と比較して貴金属触媒を使用しないため低コストで作成でき、大きな注目を集めている[1]。この技術の問題点の一つは、カソードに送り込まれる空気に含まれる二酸化炭素 (CO₂) が OH⁻ と結合することにより生じる HCO₃⁻ や CO₃²⁻ により膜の導電性が低下する事である。一方でこの特性を利用した、空気中の二酸化炭素を直接回収する技術 (DAC: Direct Air Capture) も、AEM 型燃料電池を用いた CO₂ 回収装置(EDCS)として研究がおこなわれている[2]。

この EDCS の通常の利用方法は CO₂ 回収であるが、ここでは回収した CO₂ の利用を提案する。すなわち、この EDCS が CO₂ を濃縮可能であり、再生可能エネルギー由来の電力で水電解をする水素貯蔵システムと組み合わせて使用することが出来れば、新たな CO₂ 供給装置を作製することができる。この技術を、現在は灯油などの化石燃料を燃焼させることにより CO₂ 濃度を 1000 – 1500ppm として作物収率を向上させている植物工場や温室に応用することで、クリーンな電力のみで CO₂ の供給を行う事が可能となる。本発表では大気から CO₂ を分離したのち濃縮供給するための CO₂ 濃縮器について検討する。

測定には電極面積が 6.25 cm² の AEM 型の燃料電池を使用した。AEM として PiperION (厚み 20 μm)、アノード及びカソードの触媒として Pt/C、集電板として Ti メッシュを使用した。カソードに加湿した空気を 600 ml/min、アノードに加湿した水素を 6 ml/min 流し、室温で動作させた。燃料電池として動作させた際の電流、カソード入口と出口の空気中の CO₂ 濃度、アノード出口の水素中の CO₂ 濃度を測定した。Fig.1 に測定結果を示す。燃料電池は 100 mA 程度の電流で動作し、電流が流れ始めた後、CO₂ を大気よりも高濃度に濃縮し、カソード側に輸送していることが確認できた。CO₂ 回収量は従来報告されているもの[2]よりも少ない結果であったが、これは燃料電池の動作温度が低いことが原因であると考えられる。結果より、CO₂ を濃縮して供給が可能な装置を構築できる可能性が示唆された。

[1] R. Vedarajan *et al.*, WIREs Energy and Environment, **12**, e466 (2022).

[2] S. Matz *et al.*, J. Electrochem. Soc., **169**, 073503 (2022).

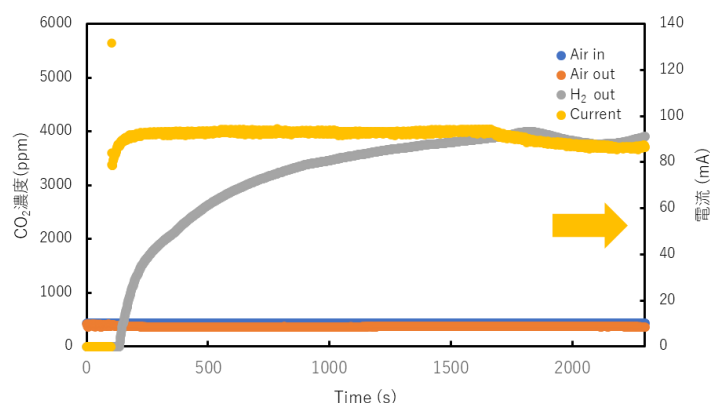


Fig. 1 AEM を用いた CO₂ 回収装置の動作.

1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology | Oral presentation : 1.5
Instrumentation, measurement and Metrology

[10p-N406-1~10] 1.5 Instrumentation, measurement and Metrology

[10p-N406-1]

Development of laser wavelength-controlled cavity ring-down spectroscopy

○Hisashi Abe¹ (1.AIST)

[10p-N406-2]

Evaluation of Relationship between Air Temperature and Humidity and Condensing Surface Temperature in Humidity Measurement Method using Heat Pipe

○Naoya Ishiwata¹, Hisashi Abe¹ (1.AIST)

[10p-N406-3]

Evaluation of adsorption and interactions of surfactants with dispersed nanomaterials in liquid media

○Haruhisa Kato¹, Ayako Nakamura¹ (1.AIST)

[10p-N406-4]

Demonstration of Sensitivity Improvement by Sample Vibration Excitation in Resistivity Measurement for Non-Magnetic Material Using MFM

○Kazuma Okamoto¹, Takumi Imura¹, Satoshi Abo¹, Fujio Wakaya¹, Katsuhisa Murakami², Masayoshi Nagao² (1.UOsaka, 2.AIST)

[10p-N406-5]

A Study on Improving the Accuracy of Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

○Kento Toyoda¹, Chiharu Mizoi¹, Naohiro Seo¹, Takanori Ichiki^{1,2} (1.U Tokyo Eng., 2.iCONM)

[10p-N406-6]

Spectroscopy of $^2S_{1/2}$ - $^2D_{3/2}$ transition in single $^{171}\text{Yb}^+$ ions cooled three-dimensionally - detection of $m_F = 0$ to 0 component -

○Takahiro Enomoto¹, Souma Yokoo¹, Yasutaka Imai², Kazuhiko Sugiyama¹ (1.Kyoto Univ., 2.Okayama Univ.)

[10p-N406-7]

A Correction Method for Edge Contact in Cylindrical Indentation

○Ayuka Saito¹, Yuma Mori¹ (1.Mitsubishi Electric)

[10p-N406-8]

Development of a Vibration Sensor Based on Metal Nanowires

○Yuki Noda¹, Tsuyoshi Sekitani¹ (1.SANKEN, Osaka Univ.)

[10p-N406-9]

Real-time measurement of trace moisture in gas using rapid-scan cavity ring-down spectroscopy

○MINAMI AMANO¹, Hideki Tomita², Norihiko Nishizawa², Hisashi Abe¹ (1.NMIJ, 2.Nagoya Univ.)

[10p-N406-10]

Mechanoluminescence (ML) visualization on qualities of structure and adhesive joint

○Nao Terasaki¹, Yoshitaro Sakata¹, Yuki Fujio¹ (1.AIST STRI)

レーザー波長制御型キャビティリングダウン分光法の開発

Development of laser wavelength-controlled cavity ring-down spectroscopy

産総研¹, °阿部 恒¹,

National Metrology Institute of Japan (NMIJ/AIST)¹, °Hisashi Abe¹

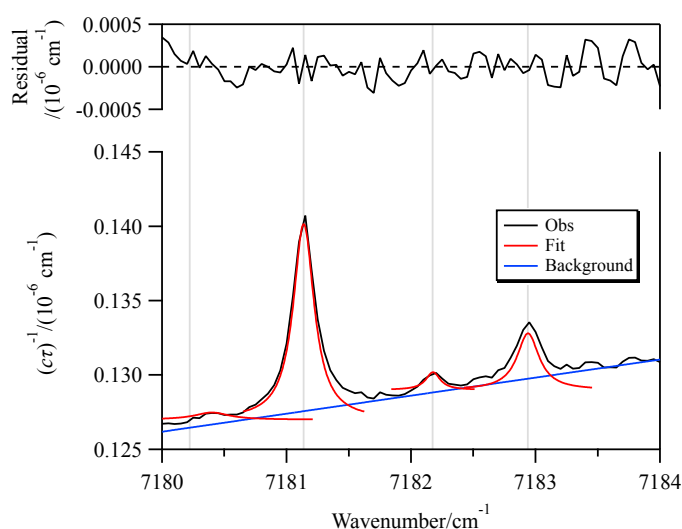
E-mail: abe.h@aist.go.jp

【序】キャビティリングダウン分光法(CRDS)は、レーザー吸収分光法の一つであり、微量ガスの計測、特に微量水分の測定に威力を発揮する計測法である[1]。高フィネス光共振器(キャビティ)を用いることで、数十 km に及ぶ有効光路長を確保し、高感度化を実現する。さらに、吸収係数の絶対値が得られるため、標準ガスを使用せずに定量測定が可能となる。CRDS では、プローブレーザーの周波数をキャビティの共振周波数に一致させる必要がある。本研究では波長計を用いてレーザー波長を目的値に制御した状態で、キャビティの共振周波数を変化させてリングダウン時間(τ)の測定を行う「レーザー波長制御型 CRDS」を開発した。

【実験】反射率 99.9993 %の高反射率ミラー2枚を用いて、共振器長 60 cm のキャビティを構築した。片側のミラーマウントにはピエゾ素子を組み込み、キャビティの長さを数 μm 程度調整可能とした。1.4 μm 帯の DFB レーザーの発振波長を波長計でモニターしながら、設定波長で安定化するように、DFB レーザーの駆動電流を PID 制御した。この状態で、ピエゾ素子を用いて片側のミラーを光軸方向に前後させてキャビティの共振周波数を変化させ、レーザー光をキャビティと共振させて、 τ を測定した。設定波長を変化させながら、この測定を繰り返し、水の吸収スペクトルを取得した。試料ガスは国際単位系(SI)にトレーサブルとなる窒素中微量水分の標準ガスを用いた。

【結果】右図に、モル分率 (12.30 $\pm$ 0.71) ppb の微量水分の標準ガスを導入して取得した水の近赤外吸収スペクトルの一例を示す。7181.14 cm^{-1} の吸収線の解析から求めた水のモル分率は 12.6 ppb となり標準の値と不確かさの範囲で一致した。フィッティング残差(図上側)の標準偏差は $1.3 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$ であった。これは 7181.14 cm^{-1} の吸収線で見積もると水のモル分率 0.13 ppb 相当になる。

本研究は JST CREST JPMJCR2104 の支援を受けたものである。



[1] H. Abe, Journal of Physics: Conference Series, 2439, 012001 (2023).

ヒートパイプを用いた湿度計測法での温湿度と凝縮面温度の関係評価

Evaluation of Relationship between Air Temperature and Humidity and Condensing

Surface Temperature in Humidity Measurement Method using Heat Pipe

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】車載電子部品の利用拡大等に伴い環境試験の需要は年々増しており、中でも耐湿性試験では温度 85 °C・相対湿度 85 %rh 等の高温高湿雰囲気が用いられる。その雰囲気制御に使われる乾湿計や静電容量式湿度センサにおける、劣化によるドリフトやメンテナンスの負担といった課題に対し、耐環境性の高い金属製ヒートパイプを採用した凝縮に基づく新たな方法が提案され¹、高温高湿雰囲気に強くメンテナンスフリーな湿度計測法の実現に向けその開発が進められてきた。発表者らは精密温度制御システムの開発により、本計測法の課題であった室温影響の低減や再現性の向上に成功したものの、凝縮面温度と雰囲気温湿度との関係の解明は不十分であった。本研究では、本新規湿度計測法の計測原理の詳細とそれに基づく雰囲気湿度の決定法を明らかにすることを目的に、様々な温湿度条件でヒートパイプ凝縮面温度を測定し、それらの関係を評価した。

【実験】図 1 に開発した装置の概要を示す。本装置は、環境試験槽中のヒートパイプとその槽外側部分に設置された精密温調ユニットで構成される。槽内のパイプ温度 T_h が雰囲気露点 T_d より低温の場合、パイプ上に結露が生ずる。ヒートパイプ上での熱移動が定常状態の時、雰囲気からの対流熱伝達と凝縮熱伝達によるパイプへの熱流入量とパイプから温調ユニットへの熱流出量とは等しいと考えられる。これらの熱移動量は、 T_h やユニット温度 T_c 、雰囲気温度 T_a や T_d の高低で決まるため、この熱収支に基づく関係式と T_a 、 T_h 、 T_c の測定値から雰囲気湿度が決定できる。

【結果】雰囲気温度 T_a と槽内のヒートパイプ表面温度 T_h との差 $T_a - T_h$ に対し、静電容量式湿度センサで測定された雰囲気の相対湿度をプロットした結果を図 2 に示す。 T_a が一定の時、相対湿度は $T_a - T_h$ とおおよそ線形な関係になっており、実測値と最小自乗法で得られた直線からの計算値との差は ± 2 %rh 以内であった。本発表では、これらの直線の傾き・切片の更なる解析結果や、それらを基に作成した T_a 、 T_h 、 T_c から雰囲気湿度を決定する関係式の詳細を報告する。

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP24K17291 の助成を受けたものである。また本研究の実施にあたり、以前開発された装置を貸与くださったエスベック(株)山内悟留様に感謝の意を表する。

【参考文献】1. S. Yamauchi et al., *Sens. Actuators A: Phys.*, 250 (2016) 1-6.

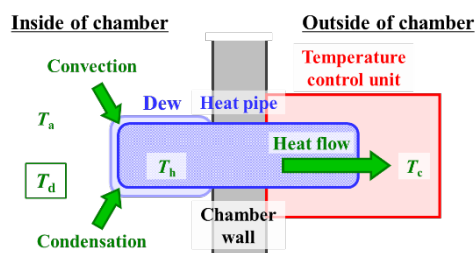


Fig. 1. Schematic diagram of the device developed in this study.

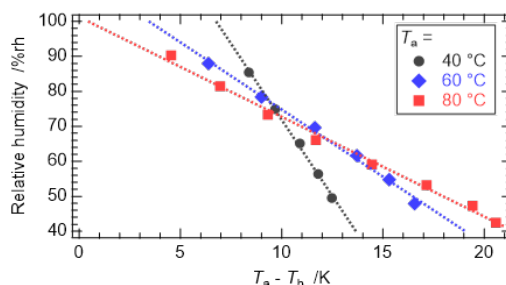


Fig. 2. Relative humidity in the chamber as a linear function of the temperature deviation $T_a - T_h$. Dotted lines were obtained by the least-square method.

液中分散ナノ材料への界面活性剤等吸着・相互作用評価

Evaluation of adsorption and interactions of surfactants with dispersed nanomaterials in liquid media

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

ナノテクノロジーはその分野横断的性質から、半導体産業をはじめとするエレクトロニクスから、医療まで広い分野にわたって社会に大きな便益をもたらすことが期待されている。一方で、これらナノ材料の優れた物理化学特性を発揮するためには、加工材料を作製する前段階としてのナノ材料の液中分散を実施することは重要なプロセスとなっており、たとえばカーボンナノチューブの優れた輸送特性を活かした電子デバイスを製作する際、カーボンナノチューブ自身を最初に溶媒中に均一に分散しインク状に加工する形で利用されている。さらに機能性ナノ材料は製薬・食品・化粧品・塗料など様々なアプリケーションとして利用されており、液中分散体として使用されているケースが多々存在する。

このように液中分散されているナノ材料は、材料間同士における大きなファンデル・ワールス引力、分散液のイオン強度の変化に伴うデバイ長の変化、等電点に代表される高い pH 応答性などに起因して、液中で容易に会合体を形成し、安定且つ均一なナノ材料分散液を作製することは重要なプロセスとなる。実際、液中においてナノ材料の長期間における安定な分散性を保持するためには、粒子表面の修飾を行うか、分散剤を用いた液中分散を実施することが一般的である。特に分散剤を用いたナノ材料の液中分散においては、分散剤として界面活性剤分子や塩を液中に適切な量添加することで、材料の表面電荷状態や材料間の物理的相互作用を改質し、ナノ材料の液中分散性をコントロールすることができるとされている。一方で液中の分散剤とナノ材料との相互作用等の描像を見るための計測法は完成されているわけではない。

本研究ではこのような計測的困難さを打破することを目的とし、磁場勾配核磁気共鳴法等を用いた液中のナノ材料と分散剤の相互作用や吸着性に関わる研究開発内容を紹介する。液中における双方の相互作用を観察することはナノ材料の液中分散機構の解明に大きく寄与することから、様々な分野に適用されている液中分散機能性ナノ材料の特性強化に寄与する開発に重要な役割を果たすことが期待される。

- 1) H. Kato, A. Nakamura, Powder Technol., 2025, 454, 120700.
- 2) H. Kato, A. Nakamura, Nanomaterials, 2023, 13, 80, 1-15.
- 3) H. Kato, A. Nakamura, Powder Technol., 2022, 399, 117206.

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向上の検証

Demonstration of Sensitivity Improvement by Sample Vibration Excitation

in Resistivity Measurement for Non-Magnetic Material Using MFM

阪大院基礎工¹, 産総研², ○岡本 一真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

UOsaka.¹, AIST², ○Kazuma Okamoto¹, Takumi Imura¹, 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する場合、試料に流れた渦電流により発生した磁場からの力の影響により、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。渦電流を大きくするために、高次の振動を利用して高周波数を実現した時の感度を理論的に検討した[2,3]。その結果、高次の振動を用いると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[2,3]。そこで、高次の振動を用いずに渦電流を大きくするために試料を振動させた時の位相差をシミュレーションし、感度がよくなることを明らかにした[4]。本研究では、シミュレーションで示した感度向上を実験的に検証することを目的とした。

図1に本研究で用いた装置の模式図を示す。MFMの試料台に設置した piezo 素子に、位相シフターと電圧アンプを通した電圧を印加し試料を加振した。フォトディテクターから出力される電圧とカンチレバーを振動させている piezo 素子の電圧の位相差をロックインアンプを用いて検出した。試料を振動させて位相差を計測した結果、振動させていない時に比べて少なくとも2倍程度は感度が向上していることを確認した。また、図1に描いている位相シフターを用いて試料の振動の位相を変化させると、検出される位相差が変化することも確認した。

本研究は JSPS 科研費 22H01498 の助成を受けたものです。

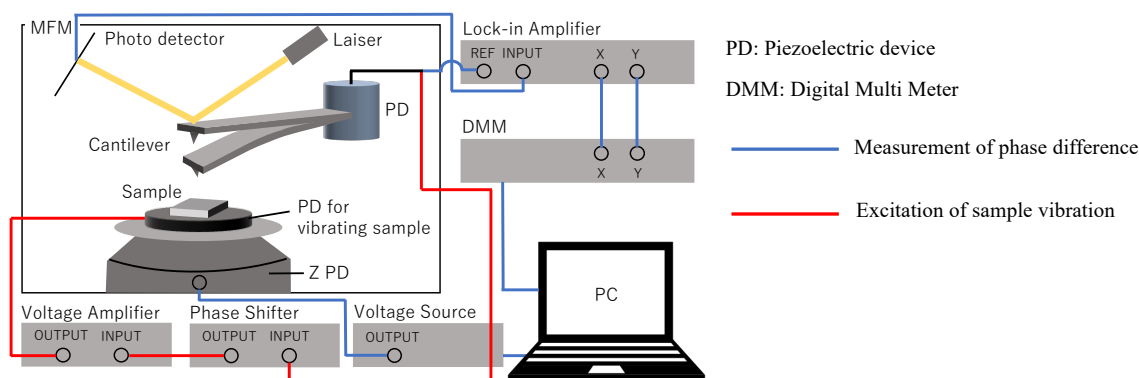


Figure 1: Schematic drawing of resistivity measurement for non-magnetic material using MFM with sample vibration.

文献: [1]F. Wakaya *et al.*, Appl. Phys. Lett., **113** (2018) 261601. [2]K. Okamoto *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **64** (2025) 04SP24. [3]岡本一真 他,第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-12C-5. [4] 岡本一真 他, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-C43-7.

NTA 法の精度向上に関する研究

A Study on Improving the Accuracy of Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

東京大学¹, ナノ医療イノベーションセンター(iCONM)²

○樋田健斗, 溝井千春¹, 瀬尾尚宏¹, 一木隆範^{1,2}

The University of Tokyo¹, Innovation Center of NanoMedicine(iCONM)²

○Kento Toyoda¹, Chiharu Mizoi¹, Naohiro Seo¹, Takanori Ichiki^{1,2}

E-Mail: toyoda@bionano.t.u-tokyo.ac.jp

【緒言】

ナノ粒子トラッキング解析 (nanoparticle tracking analysis: NTA) は、レーザー散乱により微小粒子を視覚化し、そのブラウン運動を追跡することで粒子径を算出する非侵襲かつ定量的な解析手法として近年広く利用されている[1]。しかしながら、実際の測定結果は理論的な粒径分布と比較して乖離が認められ、理論予測よりも大きな誤差が生じる場合が多い。これらの誤差はNTA測定法に起因すると考えられているが、その具体的な要因や影響については未だ十分に解明されていない。本研究では、ブラウン運動を模擬するモンテカルロシミュレーションを用い、誤差の発生メカニズムを解析し、測定精度向上に向けた指針を得ることを目的とした。

【実験方法】

Python を用いたモンテカルロシミュレーションにより、2次元ブラウン運動を再現した。アインシュタインの理論に基づき、各粒子には平均0、標準偏差 $\sqrt{2Ddt}$ のガウス分布に従うランダムウォーク[2]をx軸およびy軸方向に加えた (D は拡散係数、 dt は時間ステップ幅)。拡散係数 D はストークス・アインシュタインの式を用いて粒子径と関連付けられており、粒子のブラウン運動に基づく軌跡から粒子径を推定することができる。常温の水中 (温度 298 K、粘度 8.9×10^{-4} Pa·s) を想定し、時間間隔 1 ms、ステップ数 1000 で、1000 個の粒子についてシミュレーションを行った。対象とした粒子径は 50、75、100、200、400 nm とし、それぞれのブラウン運動から粒子径を推定した。

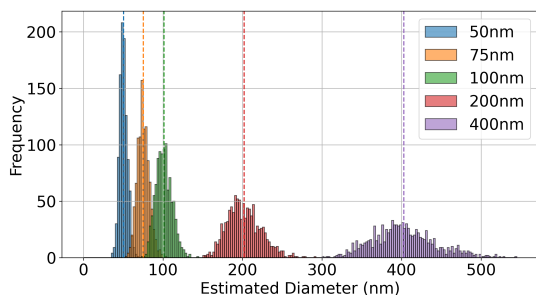


Fig.1 Estimated diameter of Brownian motion.

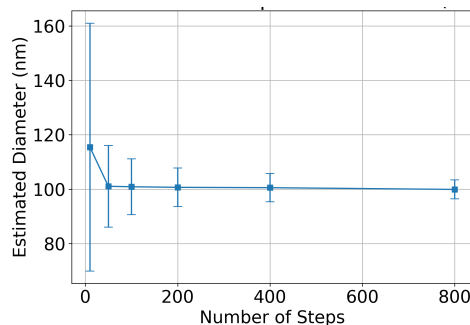


Fig.2 Effect of number of steps on the estimated diameter.

【実験結果】

Fig.1 に各粒子径の粒子に対する推定粒子径の分布を示す。ここで、分布の理想的な平均は設定した粒子径 d nm、理想的な標準偏差は $d/\sqrt{\text{steps}}$ nm で表されるが、本シミュレーションではこれらに非常に近い、理想的な結果が得られた。特に粒子径が小さい場合でも、分布の中心が真の粒子径に収束し、統計的揺らぎも理論通りに抑えられていることがわかる。

さらに Fig.2 に示すように、ステップ数を増やすことで、推定される粒子径分布の平均値が理想的な直径 d に近づき、同時に標準偏差が減少していく傾向が確認された。実際の NTA においても観測される粒子のトラッキング時間、すなわち取得されるステップ数を十分に確保することが、粒径の推定精度向上に大きく寄与することを意味している。

【結言】

Python でブラウン運動のシミュレーションを行い、理想的な分布が得られた。今後は、この結果を踏まえ、実際の NTA 装置による測定においても同様の精度を実現することを目指す。そのために、実験系の構築を進め、測定条件の最適化を図るとともに、解析プログラムの改良も並行して行い、汎用的な解析フレームワークの確立を目指す。

【参考文献】

- [1] Filipe, V., et al., *Pharm Res* 27 (2010): 796-810.
- [2] Van Zanten, et al., *Macromolecules* 37.10 (2004): 3874-3880.

3次元に冷却された単一 $^{171}\text{Yb}^+$ の $^2\text{S}_{1/2}-^2\text{D}_{3/2}$ 時計遷移分光 (II)

— $m_F=0$ 間成分の検出 —

Spectroscopy of $^2\text{S}_{1/2}-^2\text{D}_{3/2}$ transition in single $^{171}\text{Yb}^+$ ions cooled three-dimensionally

— detection of $m_F = 0$ to 0 component —

京大院工¹, 岡山大基礎研² ○(M2)榎本 隆大¹, (M1)横尾 奏真¹, 今井 康貴², 杉山 和彦¹

Kyoto Univ.¹, Okayama Univ.², °Takahiro Enomoto¹, Soma Yokoo¹, Yasutaka Imai², Kazuhiko

Sugiyama¹

E-mail: enomoto@giga.kuee.kyoto-u.ac.jp

$^{171}\text{Yb}^+$ は、磁場に対して鈍感な磁気量子数 $m_F = 0$ 間の遷移をもち、かつ、核スピン $I=1/2$ であるため超微細構造が単純である。このことから、不確かさの小さい光周波数標準(光時計)や量子計算機の研究で用いられるイオン種の一つとなっている。我々は単一 $^{171}\text{Yb}^+$ をイオントラップに捕捉し、波長 435 nm $^2\text{S}_{1/2}-^2\text{D}_{3/2}$ 時計遷移の分光をおこなってきた[1]。文献[1]では2次元のみであった冷却を3次元とも可能とし、時計遷移分光を進めた[2]。当初はスペクトルの信号対雑音比が不十分でゼーマン成分の同定が不確実であったため、磁場に最も敏感な $\Delta m_F = \pm 2$ 成分のみ検出するように磁場と偏光を設定して、スペクトルを単純にした。そして、高分解化をすすめ、永年運動によるサイドバンドを検出した [3]。この過程でマイクロ運動を最小化する方法を変項したところ、マイクロ運動によるサイドバンドが大きく減少しスペクトルが単純になった。そこで、今回は磁場に鈍感な $m_F=0$ 間成分の検出を試みた。

図は、 $m_F=0$ 間成分の観測結果である。磁場方向をレーザー進行方向に対して 45 度、偏光方向を磁場とレーザー進行方向によって定まる平面内とした。今後は $m_F=0$ 間成分を高分解能で分光し、永年運動によるサイドバンドから温度評価をおこなうことを目指す。

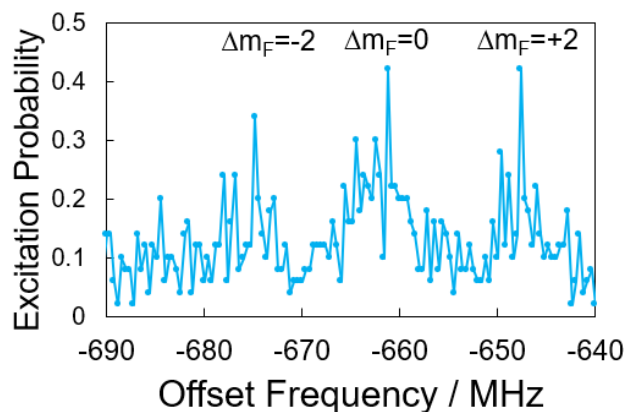


Fig. Magnetic-field insensitive $^2\text{S}_{1/2}(F=0, m_F=0)$
 $-^2\text{D}_{3/2}(F=2, m_F=0)$ transition in single $^{171}\text{Yb}^+$.

[1] Y. Imai, *et al.*, Radio Sci., **51**, • pp.1385–1395, (2016).

[2] 榎本, 森本, 吉田, 今井, 杉山, 2023 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-12C-4.

[3] 杉山, 榎本, 安藤, 今井, 2024 年第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 17a-K209-3.

円柱圧子押込試験における片当たり補正方法の開発

A Correction Method for Edge Contact in Cylindrical Indentation

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】 円柱圧子(以降, 圧子)を用いたインデンテーションは, 粘弾性を有する樹脂材料に有効な機械特性評価方法である¹⁾。しかし, 圧子底面に対し試料表面が完全に平行とならないため, 押込開始直後は圧子の縁部のみが試料に接触する片当たりが発生する。片当たりによって力学的な軸対称性が失われると, 押込直後の荷重-変位線から算出されるヤング率をはじめ, 機械特性を正しく評価することができない。そこで, 本報では, 片当たりの影響を補正する方法について検討した。

【開発手法】 片当たり時は時間 t に依存して接触面積 A や押込圧力分布が変化するため, これらの影響を考慮して押込荷重の実測値 $F(t)$ を実効的な押込荷重 $F'(t)$ へ補正する。まず, 図1(a)に示す押込構成を仮定して式(1)から押込圧力分布 $p(x, y, t)$ を導出する。

$$p(x, y, t) = \frac{1 + \frac{(x-r)\tan\alpha}{h(t)}}{2\sqrt{1 - \left(\frac{x^2 + y^2}{r^2}\right)}} \frac{F(t)}{\pi r^2} \quad (1)$$

片当たり時の押込圧力分布を図1(b)に示す。式(1)を接触領域 D_A で積分し, 式(2)より片当たり時の平均押込圧力 $p_{ave}(t)$ を得る。

$$p_{ave}(t) = \frac{1}{A(t)} \iint_{D_A} p(x, y, t) dx dy \quad (2)$$

式(2)の平均押込圧力 $p_{ave}(t)$ と, 片当たりがない理想的な条件における平均押込圧力 $F(t)/\pi r^2$ の比 $\gamma(t)$ を用いることで, 実効的な押込荷重 $F'(t)$ は式(3)により求めることができる。

$$F'(t) = \int_0^t \frac{dF(t)}{dt} \sqrt{\gamma(t)} dt \quad (3)$$

ABS樹脂への円柱圧子押込試験結果に, 開発手法を適用した結果を図2に示す。図2(a)の荷重-変位線より, 開発手法によって, 押込開始直後の接触剛性が低下する片当たりの影響を補正できる。また, 図2(b)に示すように, 補正後の荷重-変位線から得られるヤング率は, 補正前よりも引張試験結果と近い値となる。

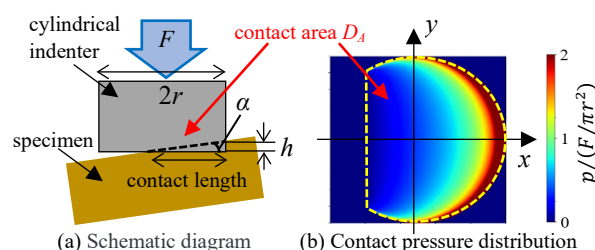
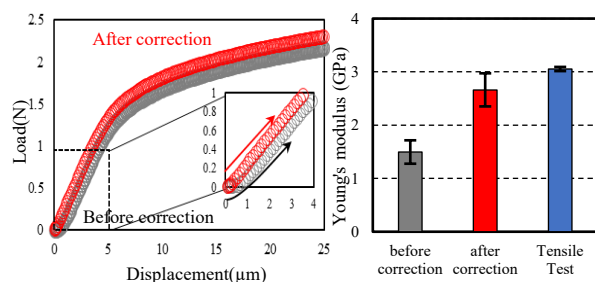


Fig.1 Schematic diagram of edge contact



(a) Load-displacement curve (b) Comparison of Young's modulus

Fig.2 Correction effects for edge contact

【参考文献】

- 1) 齋藤 彩有花, 森 湧真: 第 85 回 応用物理学会秋季学術講演会, 16p-C43-8 (2023)

金属ナノワイヤからなる振動センサの開発

Development of a Vibration Sensor Based on Metal Nanowires

阪大産研¹, °野田祐樹¹, 関谷毅¹

SANKEN, Osaka Univ.¹,

°Yuki Noda¹, Tsuyoshi Sekitani¹

E-mail: noda@sanken.osaka-u.ac.jp

振動センサはインフラ構造物の劣化検診や災害検知のみならず健康モニタリングのような様々なアプリケーション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。一方で従来の振動センサは製造過程あるいは製造後に安全性に懸念がある圧電体化合物や、外部電源が必要な検出方式が採用されている。そのため今後特に健康モニタリングの用途を想定して、安全な化合物からなる無電源で駆動可能な新しい動作原理に基づく振動センサが求められる。

本研究では金属ナノワイヤからなるネットワーク構造を電極とし、これに有機分子をコーティングした有機-無機ハイブリッド構造が無電源で振動を検出する現象について報告する。ハイブリッド構造の作製は全て溶液法で行い、幅数十 nm、長さ数 μm の金属ナノワイヤネットワーク表面に分子がコーティングされている状態を SEM-EDS 及び IR-RAS でキャラクターゼーションした。振動試験においては事前にケーブルの揺れに伴って生じるピエゾ電荷による誤信号がないことを確認して評価した。単極子配置で 10 Hz, 110 Hz, 1010 Hz の

周波数を 0.3, 0.6, 1.0 m/s^2 の加速度で加振したところ、有機-無機ハイブリッド構造(a)はいずれの周波数においても加振振動を検出できることが明らかとなった。一方比較として計測した分子コーティングしていない試料(b)においては低周波の 10 Hz を検出したものの、100 Hz 以上の高周波は検出しなかった。本講演では金属の仕事関数や湿度の影響の観点から検出原理について議論する。

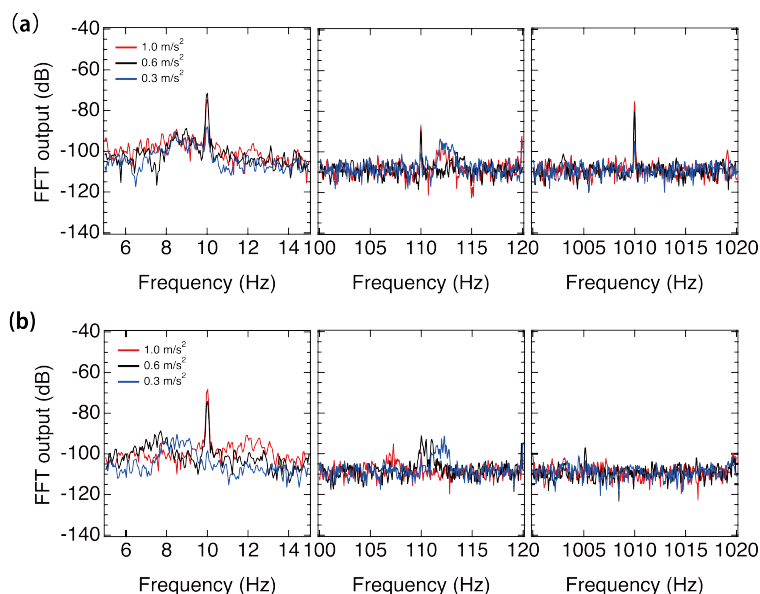


Figure. FFT Characteristics of the Vibration Sensor. (a) Metal Nanowire-Organic Molecule Composite Structure. (b) Metal Nanowires Only.

(謝辞) 本事業は、公益財団法人 JKA オートレースの補助を受けて実施しました

高速スキャン CRDS を用いたガス中微量水分のリアルタイム計測

Real-time measurement of trace moisture in gas using rapid-scan cavity ring-down spectroscopy

産総研¹, 名古屋大² °天野 みなみ¹, 富田 英生², 西澤 典彦², 阿部 恒¹

NMIJ/AIST¹, Nagoya Univ.² °Minami Amano¹, Hideki Tomita², Norihiko Nishizawa², Hisashi Abe¹

E-mail: minami-amano@aist.go.jp

半導体デバイスの製造工程では、超高純度材料ガス中に不純物として含まれる nmol/mol (ppb) レベルの微量水分を計測・管理することが要求されている。キャビティリングダウン分光法(CRDS)は 1 ppb 未満の水分にも高い感度を示す有力な計測技術であるが、市販 CRDS 微量水分計は、スペクトルの取得に時間がかかる(30 min~1 h)ことや、水の吸収線幅が狭くなるガス中で指示値の正確性が低下することなどが課題となっている。本研究では、レーザーの駆動電流を一定速度で素早く変化させて周波数(波長)を高速掃引し、レーザー周波数がキャビティの共振周波数と一致したところで吸収係数を測定することによって水の吸収スペクトルを取得する「高速スキャン CRDS 微量水分計」を開発している。光学キャビティは長さ約 60 cm のセルと反射率約 99.9975 % のミラーで構成されており、キャビティにはガス中微量水分の一次標準を参照ガスとして導入する。これまで、本装置を用いて波長 1.4 μm における水の吸収スペクトルを取得し、これを解析することで水分濃度を算出してきた。しかし、測定と解析を異なるソフトウェアを用いて別々に行っていたこと、解析そのものに長時間を要していたことから、スペクトルの取得は 10 s 前後で終わるものの、水分濃度については定点測定しかできていなかった。

そこで今回、測定と解析を同一プログラムで素早く行うようにシステムを改良し、水分濃度のリアルタイム測定・経時変化測定を可能にした。約 10 ppb の窒素中微量水分の連続測定の結果を図 1 に示す。1 点の測定にかかる時間は、スペクトル取得 15 s、水分濃度算出 1 s の合計約 16 s で、ここでは 1 min ごとに 2 h 測定値を記録した。参照ガスの水分濃度(標準の値)は 10.26 ppb、標準不確かさ 0.38 ppb、CRDS による測定結果は平均値 10.52 ppb、標準偏差 0.25 ppb であった。本発表では、微量水分の一次標準を用いた実験を行い、本手法で得られた測定値の精確性・安定性・応答性等について報告する。

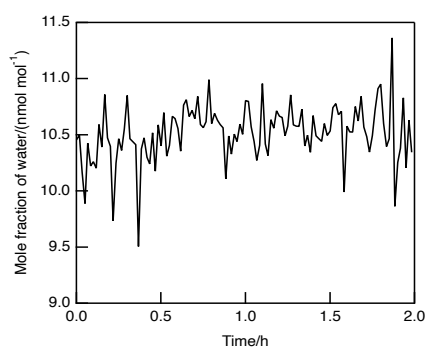


図 1. 窒素中微量水分(10 ppb)の連続リアルタイム測定

[謝辞] 本研究は、JST、CREST、JPMJCR2104 の支援を受けたものである。

応力発光による輸送体構造材・接着状態の可視化

Mechanoluminescence (ML) visualization on qualities of structure and adhesive joint

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, 藤尾侑揮¹

°Nao Terasaki¹, Yoshitaro Sakata¹, Yuki Fujio¹

E-mail: nao-terasaki@aist.go.jp

応力発光は、本来見る事が出来ず、直感的に理解しづらい【動的なひずみ分布】を発光強度とパターンで可視化する技術である。センサが、応力発光セラミック粒子を含む塗膜であり、センサを塗装する簡単さながら、破壊に繋がる応力集中、き裂発生と伝播、内部き裂や接着不良の検出を可能にしており (Fig.1)、社会インフラ (橋梁・建物)、軽量モビリティ (自動車、航空機)、グリーンエネルギー (風車、水素タンク) などに対して、評価、設計、予測、標準規格に革新をもたらして来た [1, 2]。特に接着は、モビリティ軽量・CO₂ 大幅削減に向けて、軽量材を適材適所に配置し、接合するためのキーテクノロジーとされ、製造時の品質、易解体・資源循環時再接着の品質も含めて、品質を長期に安定化させ得る界面設計と品質保証 (QA) 手段が近々の課題である。そこで本講演では、応力発光による製造後の輸送体構造材・接着状態の可視化、特にレーザー処理による接着設計と界面強度について、可視化検討したので、報告する。

謝辞: 本件の一部は、謝辞 この成果は、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 (JPNP20005) の結果得られたものです。

[1] (動画あり) N. Terasaki: "Direct Visualization of Mechanical Behavior During Adhesive Bonding Failure Using Mechanoluminescence (ML)", *Interfacial Phenomena in Adhesion and Adhesive Bonding*, 209-290 (2024). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-99-4456-9_4

[2] [ISO 8065:2024 - Composites and reinforcements fibres — Mechanoluminescent visualization method of crack propagation for joint evaluation](#)



Fig. 1. ML studies in QC & QA in structure and adhesive joint

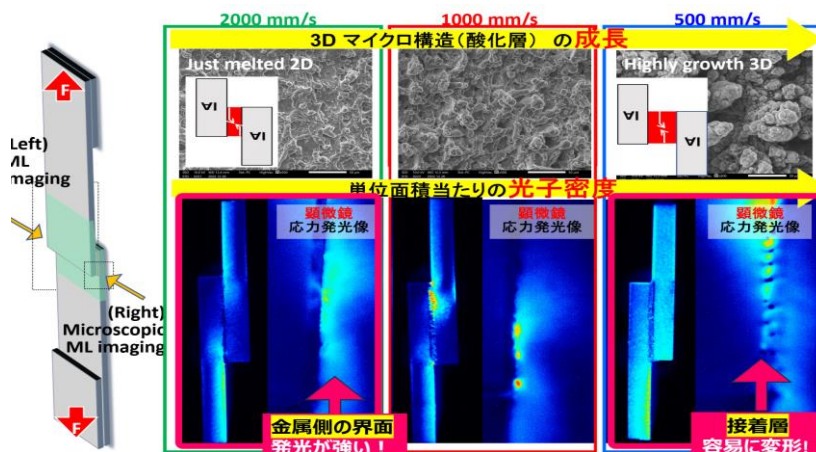


Fig. 2. ML visualization at laser pre-treated adhesive interfaces.

1 Interdisciplinary Physics and Related Areas of Science and Technology Oral presentation : 1.6 Ultrasonics
--

[9p-N406-1~13] 1.6 Ultrasonics

[9p-N406-1]

Evaluation of Acoustic Reflective Multilayer Film of SMR Type Acoustic Wave Device

○Yuji Ohashi¹, Jun-ichi Kushibiki², Kentaro Totsu², Masashi Suzuki³, Shoji Kakio³, Shota Jin⁴, Kazuki Yokoo⁴, Takahiro Ito⁴ (1.Akita Pref. Univ., 2.Tohoku Univ., 3.Yamanashi Univ., 4.Geomatec)

[9p-N406-2]

Analysis of SMR-type thickness-shear mode resonators

○(M1)Hikaru Nakajima¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, Yuji Ohashi², Jun-ichi Kushibiki³ (1.Univ. of Yamanashi, 2.Akita Prefectural Univ., 3.Tohoku Univ.)

[9p-N406-3]

Polarization control of GeAlN films and application to polarization inverted film BAW

○Aoi Yamamoto¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹ (1.Yamanashi Univ.)

[9p-N406-4]

Analysis of leaky SAW propagation on $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ /sapphire bonded structures

○(M2)Yuya Kobayashi¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, Noritoshi Kimura² (1.Univ. of Yamanashi, 2.Piezo Studio Inc.)

[9p-N406-5]

Analysis of longitudinal leaky SAW harmonics on piezoelectric substrates with periodic voids

○(M2)Shumpei Kobayashi¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹ (1.Univ. of Yamanashi)

[9p-N406-6]

SAW transverse mode suppression on LiNbO_3 /quartz bonded structures by voids placed under the electrode edges

○(M1)Masahiro Kawahara¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹ (1.Univ. of Yamanashi)

[9p-N406-7]

Observation of Internal Flow of a Droplet Resonating in an Acoustic Standing Wave

○Takaya Hirayama¹, Daisuke Koyama¹ (1.Doshisha Univ.)

[9p-N406-8]

[The 58th Young Scientist Presentation Award Speech] Acoustic Ghost Diffraction-Interference in Time Domain

○Hiroka Otomo^{1,2}, Ryota Keyaki², Susumu Fukatsu^{1,2} (1.Dept. Integ. Sci., UTokyo, 2.Grad. School of Arts and Sci., UTokyo)

[9p-N406-9]

Acoustic Interaction-Free Imaging

○Hiroka Otomo^{1,2}, Ryota Keyaki², Susumu Fukatsu^{1,2} (1.Dept. Integ. Sci., UTokyo, 2.Grad. School of Arts and Sci., UTokyo)

[9p-N406-10]

Design Method of Acoustic Carpet Cloaks for Hiding Larger Objects than the Wavelength

○Haruka Ueno¹, Tsutomu Nagayama¹, Seiji Fukushima¹, Toshio Watanabe¹ (1.Kagoshima Univ.)

[9p-N406-11]

Two Types of Rhombic Unit Cell Structures for Acoustic Topological Waveguides

○Hinata Nagayo¹, Tsutomu Nagayama¹, Seiji Fukushima¹, Toshio Watanabe¹ (1.Kagoshima Univ.)

[9p-N406-12]

Evaluation of age-related carotid pulse waveform measured by a piezoelectric sensor

○(M2)Tomoya Ikeda¹, Koki Akiyoshi¹, Miho Ohsaki¹, Kimiaki Shirahama¹, Kozue Saito², Hiroshi Yamagami³, Mami Matsukawa¹ (1.Doshisha Univ., 2.Nara Medical Univ., 3.Tsukuba Univ.)

[9p-N406-13]

Evaluation of shear stress near the wall of a cerebral artery model with stenosis

○Koki Akiyoshi¹, Tomoya Ikeda¹, Mami Matsukawa¹ (1.Doshisha Univ.)

SMR 型弾性波デバイスの音響反射多層膜の評価に関する検討

Evaluation of Acoustic Reflective Multilayer Film of SMR Type Acoustic Wave Device

○大橋雄二¹, 櫛引淳一², 戸津健太郎², 鈴木雅視³, 垣尾省司³, 神翔太⁴,
横尾和希⁴, 伊東孝洋⁴ (¹秋田県大,²東北大,³山梨大,⁴ジオマテック)
○Yuji Ohashi¹, Jun-ichi Kushibiki², Kentaro Totsu², Masashi Suzuki³, Shoji Kakio³, Shota Jin⁴,
Kazuki Yokoo⁴, and Takahiro Ito⁴
(¹Akita Pref. Univ., ²Tohoku Univ., ³Yamanashi Univ., ⁴GEOMATEC)
E-mail: yuji.ohashi@akita-pu.ac.jp

1. はじめに 次世代移動通信システムではより高周波帯(SHF 帯)の弾性波フィルタの開発が急務となっている。その実現が期待される Solidly Mounted 型共振子(SMR)フィルタでは、圧電薄膜と支持基板の間に音響ブラッグ反射多層膜を形成した構造となっている。SMR の性能向上には、圧電薄膜自身の励振効率の向上だけでなく、音響多層膜の高反射率化と低損失化を実現することが必要不可欠である。そのため、音響反射多層膜を構成する薄膜の音響特性を高精度に評価し、成膜条件へフィードバックしていくことが重要となる。

本報では、音響反射多層膜を構成する低音響インピーダンス層として SiO₂ 膜、高音響インピーダンス層として Ta₂O₅ 膜および Al₂O₃ 膜を取り上げて SMR サンプルを作製し、共振特性から多層膜の評価を検討した。

2. 音響多層膜の作製 試料として Si(100)基板上に Table I に示す音響反射多層膜を Radical Assisted Sputtering 装置(RAS-1100B II:シンクロン社製)により作製した。いずれのサンプルにおいても平滑表面が得られるように RF バイアスを 800W を印加して成膜した。多層膜の最終成膜面上の表面粗さ Sa を原子間力顕微鏡を用いて測定した結果も Table I に示す。

3. SMR デバイス特性評価 SMR としての共振特性を評価するために、音響反射多層膜上に Al/Ti の下部電極、AlN 圧電膜(730 nm)、Cu の上部電極を形成した。上部電極形成前の AlN 膜(0002)面に対する X 線ロッキングカーブ(XRC)の半値全幅(FWHM)の結果も Table I に示す。作

製した SMR サンプルに対して共振特性を測定した。サンプル#2 および#4 に対する共振波形の結果例を Fig. 1 に示す。いずれのサンプルにおいても設計周波数の 5.94 GHz 近傍に共振周波数が観測された。各サンプルに対する共振特性の結果を Table I にまとめた。#1 と#2 を比べると、同じ Ta₂O₅/SiO₂ 多層膜で対数のみ異なることで、対数の多い#2 の方が、アドミッタンス Y 比が大きく、Q 値や k_{eff}² 値も大きくなっている。また、TCF も#2 の方が向上している。一方、Al₂O₃/SiO₂ 多層膜の#3、#4 の Y 比や Qr は、#1、#2 と比べて大幅に向上している。特に、#4 は AlN の FWHM が最も大きかったにもかかわらず、Y 比と Qr が最も大きくなっており、さらに TCF も f_r の方は他と同等程度で、f_a の方は最も良い結果となった。#4 の成膜条件は#3 と比べ、Ar 流量とスパッタ圧力を増加させた効果でわずかながら性能が向上した。さらなる性能向上には、成膜条件の改善が必要と考えられるが、上記結果を踏まえると、Ta₂O₅/SiO₂ 多層膜よりは Al₂O₃/SiO₂ 多層膜の方が、より性能の良い SMR が構築できる可能性が高いと考えられる。

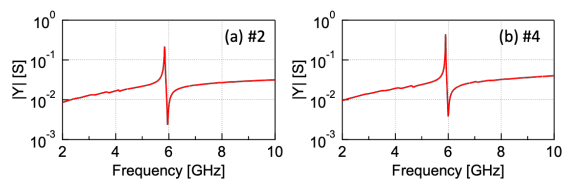


Fig. 1 Resonance characteristic of SMR samples.

Table I. Summary of film evaluation and resonance characteristic measurement results.

No.	#1	#2	#3	#4
Multilayer film	Ta ₂ O ₅ /SiO ₂ : 4対	Ta ₂ O ₅ /SiO ₂ : 7対	Al ₂ O ₃ /SiO ₂ : 8対	Al ₂ O ₃ /SiO ₂ : 8対
Roughness Sa [nm]	0.136	0.165	0.155	0.282
AlN XRC FWHM [deg]	1.781	1.842	1.834	2.148
Y ratio [dB]	31	38	40	41
Qr	246	250	412	563
Qa	153	245	221	200
k _{eff} ² [%]	3.99	4.54	4.38	4.00
k _t ² [%]*	5.7	5.7	5.4	5.0
TCF f _r [ppm/°C]	-15.2	-13.8	-15.4	-15.5
TCF f _a [ppm/°C]	-29.3	-26.1	-22.7	-15.7

SMR 型平行電界励振厚みすべり振動子の共振解析

Analysis of SMR-type thickness-shear mode resonators

○(M1)中島 輝¹, 鈴木 雅視¹, 垣尾 省司¹, 大橋 雄二², 櫛引 淳一³

¹山梨大, ²秋田県大, ³東北大

○Hikaru Nakajima¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, Yuji Ohashi², and Jun-ichi Kushibiki³

¹ Univ. of Yamanashi, ² Akita Prefectural Univ., ³ Tohoku Univ.

E-mail: g25te013@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 近年, 移動通信システムの急速な発展に伴い, 弾性波フィルタには高性能化が要求されている. LiNbO_3 (LN) は厚みすべり振動に対して大きな電気機械結合係数 K_{eff}^2 を得ることができる. Plessky らは, 板厚 $0.4 \mu\text{m}$ の LN に電極周期 $2p=6 \mu\text{m}$ の Al-IDT を設けた平行電界励振厚みすべり振動子 (Laterally excited BAW resonator: XBAR) を報告し, 5 GHz 付近で大きな電気機械結合係数 ($K^2 \approx 25\%$) を有することを明らかにしている^[1]. しかし, LN 板厚が非常に薄く, 機械的強度に問題がある. 一方, 長谷川らによって, 120°Y-LN 薄板と $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ から成る音響反射多層膜を組み合わせた SMR (Solid Mounted Resonator) 型の平行電界励振厚みすべり振動子が報告されている. SMR 型により堅牢性に優れているが, 共振周波数 4.4 GHz において $K^2 \approx 14\%$ であり, XBAR と比較して K^2 が小さい^[2]. また, 本研究グループでは AlN 圧電層を用いて高性能な $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 多層膜の成膜条件を明らかにした^[3].

本報告では, 120°Y-LN を用いた SMR 型平行電界励振厚みすべり振動子の共振特性を有限要素法 (FEM) により解析した結果を報告する.

2. FEM 解析 まず, 120°Y-LN に無限周期 Al-IDT を設けた XBAR モデルに対して共振特性を解析した. LN 板厚を $1 \mu\text{m}$, 電極周期 $2p=28 \mu\text{m}$, メタライゼーション比を 0.25 に設定した. LN の材料 Q を 600 とし, 誘電損は考慮していない. その共振特性を Fig. 1 に示す. $K_{\text{eff}}^2=38.4\%$, アドミタンス比 97 dB , 共振 $Q(Q_r)=616$, 反共振 $Q(Q_a)=878$ が得られた.

次に, XBAR モデルの底部に $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ からなる 8 対の音響反射多層膜と 4H-SiC 支持基板を設けたモデルに対して共振特性を解析した. $2p=27 \mu\text{m}$, SiO_2 膜厚 $0.45 \mu\text{m}$, Al_2O_3 膜厚 $0.56 \mu\text{m}$ に設定した. また, SMR を 2 段構造とし, 下段の音響多層膜 (AR2) を上段 (AR1) と異なる膜厚に設定することで Q が改善することがわかった. 2 段の SMR では, 下段の 2 対を SiO_2 膜厚 $0.79 \mu\text{m}$, Al_2O_3 膜厚 $1.16 \mu\text{m}$ に設定した. Fig. 2 にこれらの SMR の共振特性を示す. SMR が 1 段 (AR1) のとき, $K_{\text{eff}}^2=22.5\%$, アドミタンス比 65 dB , $Q_r=218$, $Q_a=245$ であるのに対して, 2 段 (AR1+AR2) の場合は $K_{\text{eff}}^2=20.4\%$, アドミタンス比 77 dB , $Q_r=459$, $Q_a=591$ となった.

Fig. 3 に, 共振時における表面に垂直な縦成分の粒子変位を示す. SMR を 2 段にすることで縦成分の支持基板への漏れが抑制されるこ

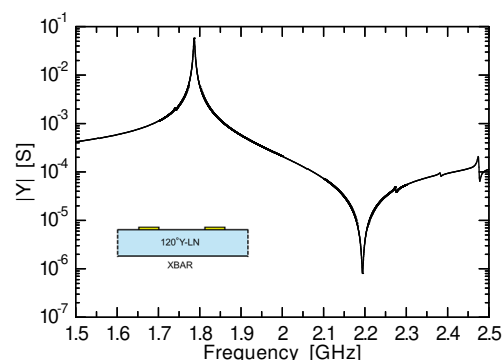


Fig. 1 Simulated resonance properties of XBAR.

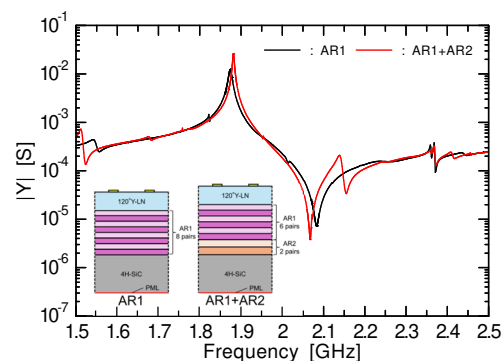


Fig. 2 Simulated resonance properties of SMR.

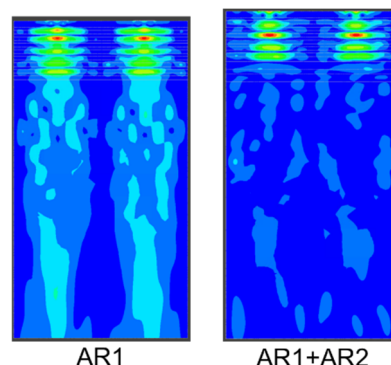


Fig. 3 Particle displacement of SMR.

とがわかった. このためアドミタンス比, Q が改善したと考えられる. しかし, SMR 型ではいずれの場合も K_{eff}^2 は XBAR のものより半減してしまう.

参考文献

- [1] V. Plessky, *et al.*, Electron. Lett., **55**, 98 (2019).
- [2] 長谷川, 他, 日本音響学会講演論文集, pp. 21-24 (2021).
- [3] 大橋, 他, 圧電材料・デバイスシンポジウム 2025, A-2, pp. 7-9 (2025).

GeAlN 薄膜の分極制御と分極反転構造膜 BAW 共振子

Polarization control of GeAlN films and application to polarization inverted film BAW resonators

山梨大学 ○(M1) 山本 碧, 鈴木雅視, 垣尾省司

Univ. of Yamanashi, °Aoi Yamamoto, Masashi Suzuki, Shoji Kakio

E-mail: g25te022@yamanashi.ac.jp

1. まえがき

BAW(Bulk Acoustic Wave)フィルタは次世代の通信規格に対応するために高周波化が求められている。従来の単層構造では、基本(1次)モードで共振する。その共振周波数 f は $f = v/2d$ (d :圧電膜の膜厚, v :圧電膜のバルク波速度)で表される。従って高周波で動作させるためには膜厚を薄くする必要がある、それに伴い共振特性や耐電力性が劣化してしまう。その解決策として検討されているのが分極反転構造 BAW 共振子である。極性の反転した膜を交互に n 層形成することにより、層数 n に応じた n 次モードで共振する。つまり単層構造と比較して同膜厚で形成したとき、 n 倍大きな周波数で共振することができる。

これまでに AlN は Ge をドーピングすることで極性が通常の Al 極性から異常 N 極性へと反転することが実証されている。[2] しかし、 n 層分極反転構造 GeAlN/AlN 膜を形成するためには 2 層目以降でターゲットを変更する必要がある、その際に大気開放を行うため膜が酸化し、膜質が劣化してしまうことがあった。

本研究では、RF マグネトロンスパッタ法で形成する GeAlN 薄膜において、装置の大気開放を行わず、ガス比のみを調整することで分極制御を目指した。また Al 極性 GeAlN / N 極性 GeAlN の 2 層分極反転構造膜を連続成膜で形成し、BAW 特性評価を行った。

2. 単層 GeAlN 薄膜の形成・評価

RF マグネトロンスパッタ法を用いて単層 GeAlN 薄膜の形成を行った。ターゲットには GeAl 合金ターゲット(7.5 wt%)を用い、導入ガスである Ar と N₂ のガス比を 6:1, 5:1, 4:1, 3:1, 2:1, 1:1, 0:1 と変化させてそれぞれ成膜を行った。総ガス圧は 0.75 Pa、ターゲット-基板間距離は 30 mm、印加電力は 125 W、成膜時間は 70~120 min で成膜した。GeAlN 膜の膜厚は 2-5 μm であった。基板には石英ガラス基板上に Ti 下部電極 (膜厚 200 nm) を形成したものを使用した。

GeAlN 膜にプローブで圧力を加え、オシロスコープ(IWATSU DS-5110B)を用いて圧電効果による電圧を測定し、電圧の正負荷から GeAlN 膜の極性を評価した。試料に圧力を加えると、Ar:N₂ のガス比が 6:1, 5:1, 4:1, 3:1 のときは正電圧があらわれ、極性が N 極性となり、一方でガス比が 2:1, 1:1, 0:1 では、圧力を加えると負電圧が観測され、Al 極性になることがわかった。

3. 2 層分極反転 GeAlN 薄膜の形成・評価

2.で示した極性の制御を用いて RF マグネトロンスパッタ法で大気開放なしの連続成膜を行い、2 層分極反転構造 GeAlN 薄膜を形成した。1 層目に N 極性 GeAlN 膜(ガス比 5:1)、2 層目に Al 極性 GeAlN 膜(ガス比 1:1)を成膜し、ネットワークアナライザを用いて変換損失の測定を行った。その結果を図 1(a)に示す。1.5 GHz 付近の 1 次モードで大きく共振し、3 GHz 付近の 2 次モードは抑制されている。よって 2 層目(Al 極性)の成膜時に、1 層目(N 極性)の極性を引き継いでしまい、膜厚比 1:1 の分極反転構造膜が形成されなかった。反対に 1 層目を Al 極性、2 層目を N 極性にして成膜した膜での変換損失を図 1(b)に示す。1.5 GHz 付近の 1 次モードは変換損失が大きく、共振が抑制されている。一方、3.2 GHz 付近の 2 次モードでは変換損失が小さく、2 次モードでの共振を達成した。このことから、Al 極性膜上の N 極性膜では分極方向の引き継ぎは発生せず、2 層分極反転構造膜が形成できていることを確認した。

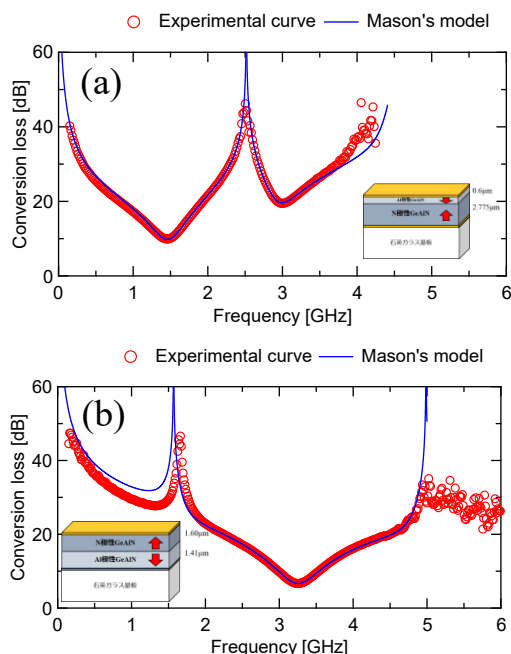


Fig.1 Conversion loss of (a) Al-polar/N-polar GeAlN film HBAR and (b) N-polar/Al-polar GeAlN film HBAR

参考文献

- [1] J. Sekimoto, et al. JJAP 62.SJ (2023): SJ8008.
- [2] S.A.Anggraini, et al. Sci. Re. 10.1 (2020): 4369.

Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄/サファイア接合構造上のリーキーSAW 伝搬特性の解析

Analysis of leaky SAW propagation on Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄/sapphire bonded structures

¹山梨大, ²Piezo Studio [○](M2)小林 祐哉¹, 鈴木 雅視¹, 垣尾 省司¹, 木村 悟利²

¹Univ. of Yamanashi, ²Piezo Studio Inc.

Yuya Kobayashi¹, Masashi Suzuki¹, Shoji Kakio¹, and Noritoshi Kimura²

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. SAW デバイスには主に LiTaO₃(LT), LiNbO₃(LN)等の圧電単結晶が用いられてきた. LT, LN は大きな電気機械結合係数 K^2 を有するが周波数温度係数(TCF)が大きい. 著者のうち山梨大のグループでは, LT, LN 薄板に, LT, LN よりも高音速な水晶やサファイアを支持基板として異種材料接合すると, リーキーSAW(LSAW)や縦型 LSAW の K^2 が増加することを理論的, 実験的に明らかにしている^[1].

La₃Ga₅SiO₁₄ 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 K^2 とゼロ TCF を有する材料として注目されたが, 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. 著者らのグループでは, 単結晶内の均一性が高い等の利点を有する新規ランガサイト型結晶 Ca₃TaGa₃Si₂O₁₄(CTGS)に注目し, Au-IDT または Al-IDT を用いた CTGS(0°, 0°, 90°)上の横波型 SAW の伝搬, 共振特性を理論的, 実験的に検討し, 1.2%の K^2 とゼロ TCF が得られるカット角を明らかにした^[2].

本報告では, サファイアを支持基板とした Al-IDT/CTGS(0°, 0°, 0°)/サファイア接合構造上の LSAW の共振特性とその TCF を有限要素法(FEM)により解析した結果を報告する.

2. FEM 解析 Al-IDT/CTGS(0°, 0°, 0°)/サファイア(0°, 0°, 0°)の LSAW 共振特性を, $\lambda=10\ \mu\text{m}$ の無限周期構造 IDT について FEM により解析した. CTGS の材料 $Q(Q_m)$ を 2,000 とした. Fig. 1 に CTGS の第 2 オイラー角を変化させた場合の実効的電気機械結合係数 K_{eff}^2 を示す. ここではアルミ膜厚 $h_{\text{Al}}/\lambda=0.0001$ としている. いずれの板厚においても $\theta=90^\circ$ 付近で最大値を示す.

Fig. 2 に Al-IDT/CTGS(0°, 94°, 0°)/サファイアにおける TCF の板厚依存性を示す. h_{Al}/λ を不要応答の影響が少ない 0.03 に設定した. 板厚の増加により TCF は負から正にシフトし, 共振時に 0.16 λ , 反共振時に 0.19 λ の板厚でゼロ TCF を示した. K_{eff}^2 , アドミタンス比(AR)が最大値を示す $h_{\text{CTGS}}/\lambda=0.29$ では共振 TCF は+52 ppm/°C, 反共振 TCF は+24 ppm/°Cを示した. Fig. 3 に CTGS 単体と接合構造の共振特性を示す. 接合することで K_{eff}^2 は 3.2%, AR は 73 dB, 共振 Q は 2,520, 反共振 Q は 2,620 を示す LSAW

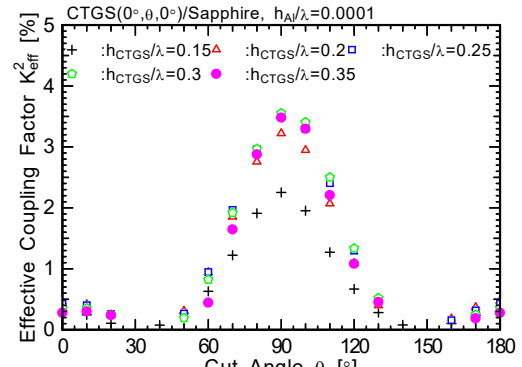


Fig. 1 Simulated K_{eff}^2 of LSAW.

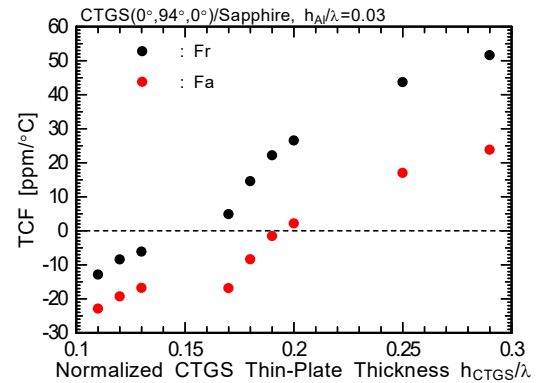


Fig. 2 Simulated TCF.

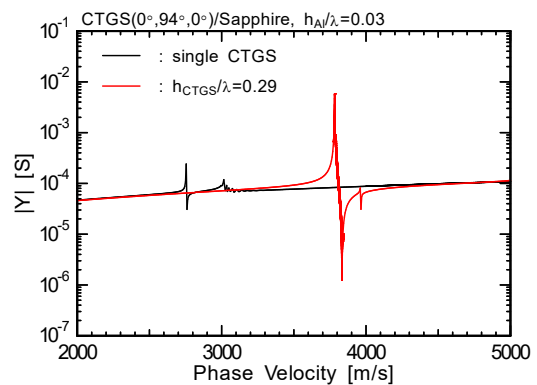


Fig. 3 Simulated resonance properties for LSAW.

応答が現れることがわかった.

参考文献

- [1] M. Gomi, T. Kataoka, J. Hayashi, and S. Kakio, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 07JD13 (2017).
- [2] R. Suzuki, M. Suzuki, S. Kakio, and N. Kimura, Jpn. J. Appl. Phys. **62**, SJ1022 (2023).

周期的空隙を有する圧電基板上の縦型リーキーSAW 高調波の解析 Analysis of longitudinal leaky SAW harmonics on piezoelectric substrates with periodic voids

山梨大[○](M2) 小林 駿平, 鈴木 雅視, 垣尾 省司

Univ. of Yamanashi, [○]Shumpei Kobayashi, Masashi Suzuki, and Shoji Kakio

E-mail: g24te009@yamanashi.ac.jp

1. はじめに 圧電結晶薄板の上下面を全反射しながら伝搬する板波には、非常に速い速度や大きな電気機械結合係数 K^2 を有する伝搬モードがあり、弾性波デバイスの高周波化、広帯域化に有利である。また、すだれ状電極(IDT)で励振される弾性表面波(SAW)には、基本波に加えて奇数次の高調波成分を含むこと、それらの励振強度は電極幅 a とピッチ p の比(メタライゼーション比= a/p)に依存することが知られている^[1]。三次高調波は基本波の約3倍の周波数で応答が得られるため、高周波化に有利である。

当研究グループは、周期的空隙を有する支持基板と LiNbO₃(LN)薄板との接合構造を提案し、板波(S₀ モードラム波)に近い縦型リーキーSAW(LLSAW)の共振特性を示すことを明らかにした^[2]。本報告では、周期的空隙を有する接合構造上の LLSAW 高調波の共振特性を有限要素法(FEM)により解析した結果を報告する。

2. 共振特性の FEM 解析 圧電薄板として S₀ モードラム波に対して最大の電気機械結合係数 K^2 を示す X35°Y-LN を選択し、支持基板として高音速基板である 4H-SiC を選択した。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。波長 $\lambda=3.0\ \mu\text{m}$ 、支持基板の厚みを 10λ 、LN 板厚を h_{LN} 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 と一致させた。LN の材料 Q を 600 と仮定した。

Fig. 1 に $a/p=0.8$ で Al 膜厚をパラメータとした、LN 板厚依存性に対する X35°Y-LN 単板上の LLSAW 三次高調波の比帯域幅を示す。Al 膜厚が薄いほど比帯域幅は増加する傾向が見られ、 $h_{\text{Al}}/\lambda=0.005$ のとき $h_{\text{LN}}/\lambda=0.04$ で最大値となり 4.8% を示した。Fig. 2 に $h_{\text{LN}}/\lambda=0.04$ 、 $h_{\text{Al}}/\lambda=0.005$ とし、周期的空隙を有する 4H-SiC との接合構造における共振特性を示す。 w/p の増加に伴い X35°Y-LN 単板の応答に漸近することがわかった。Fig. 3 に、 $h_{\text{LN}}/\lambda=0.04$ 、 $h_{\text{Al}}/\lambda=0.005$ 、 $a/p=0.8$ とした場合の w/p に対する比帯域幅とアドミタンス比を示す。 w/p の増加に伴い比帯域幅も増加し、X35°Y-LN 単板の 4.8% に近づく傾向が得られた。アドミタンス比は、 w/p の増加に伴い増加傾向は見られたが、 $w/p=0.8$ 付近で約 60 dB を示してから低下する結果となり、比帯域幅とは異なる傾向を示した。

参考文献

- [1] H. Engan, IEEE Trans. **12** ED-16 (1969).
- [2] T. Suzuki, *et al.*, JJAP **62** SJ1008 (2023).

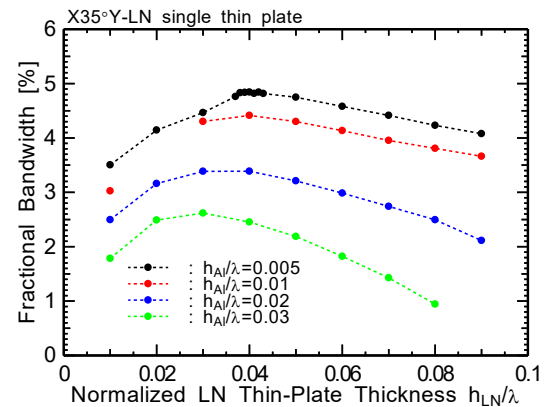


Fig. 1 Simulated fractional bandwidth of 3rd harmonic vs. LN plate thickness.

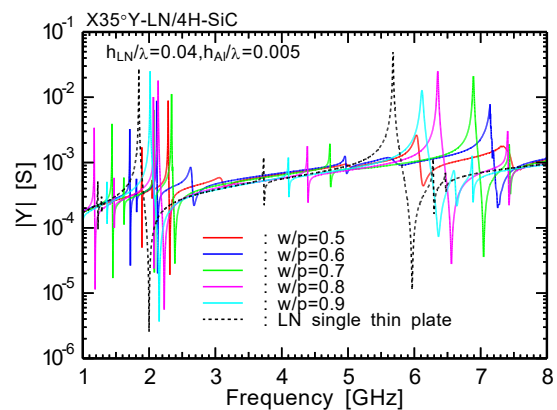


Fig. 2 Simulated resonance properties.

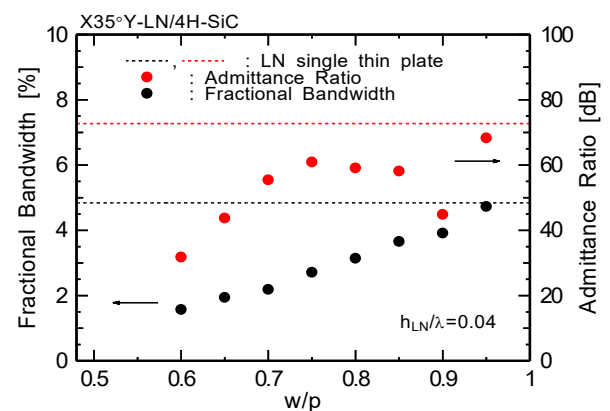


Fig. 3 Simulated fractional bandwidth and admittance ratio of 3rd harmonic vs. w/p .

謝辞 本研究の一部は科研費基盤研究(B) 23K26137 の支援を受けている。

電極端部に設置した空隙による LiNbO₃/水晶接合構造上の SAW 横モード抑圧SAW transverse mode suppression on LiNbO₃/quartz bonded structures by voids placed under the electrode edges

山梨大 ○(M1)川原 雅広, 鈴木 雅視, 垣尾 省司

Univ. of Yamanashi, Masahiro Kawahara, Masashi Suzuki, and Shoji Kakio

E-mail: g25te004@yamanashi.ac.jp

1. はじめに

近年の通信デバイスの高性能化に伴い、弾性表面波(SAW)デバイスの横モードによる不要応答(スプリアス)の抑圧が要求されている。横モードの抑圧方法として、すだれ状電極 IDT の交叉幅を変更して抑圧するアポダイズ法や電極指先端の電極幅を広げて抑圧するピストンモード法、スローネスカープの平坦化などが提案されてきた[1, 2]。

本研究では、LiNbO₃(LN) 薄板と水晶(Qz)支持基板との接合構造において、電極端部下の接合境界面に空隙を設置することによる新しい横モードの抑圧方法を提案する。解析には高 Q な Leaky SAW(LSAW)の共振特性が得られる 36°YX-LN/Qz 接合構造[3]を用いる。提案構造の横モードを含む共振特性を有限要素法(FEM)により解析した結果を報告する。

2. 共振特性

36°YX-LN/Qz 接合構造上に波長 $\lambda=10\ \mu\text{m}$ の無限周期 Al-IDT を設けた LSAW 共振特性を FEM によって解析した。IDT の Al 膜厚を 0.04λ 、交叉幅を 25λ 、ギャップ幅を 1.4λ 、バスバー幅を 3λ 、メタライゼーション比を 0.5 に設定した。LN 薄板の板厚を 0.2λ 、Qz の厚さを 10λ とし、底面とバスバーの側面に完全整合層を設定した。Fig. 1 に電極指先端部の LN 下に空隙を設置した 1 周期分の解析モデルを示す。LN の材料 Q を $1,000$ に設定し、空隙内部を真空中に設定した。

電極先端からギャップ方向を正とした空隙端部の位置を v 、空隙の幅を w とする。空隙の条件として、 $v=0$ に対して $w=0.2\lambda$, 0.3λ に固定、 $v=0.5\lambda$ に大して $w=0.5\lambda$, 0.6λ , 0.7λ に固定して共振特性を解析し、最も横モードが抑圧される空隙の深さ d を求めた。その結果、 $v=0$ に対して $w=0.2\lambda$ のとき $d=0.2\lambda$, $w=0.3\lambda$ のとき $d=0.1\lambda$ が得られ、 $v=0.5\lambda$ に対して $w=0.5\lambda$ のとき $d=0.4\lambda$, $w=0.6\lambda$ のとき $d=0.3\lambda$, $w=0.7\lambda$ のとき $d=0.2\lambda$ がそれぞれ得られた。

Fig. 2(a), (b)に、これら五種の空隙の条件における共振特性と、空隙を設置しない場合の共振特性を示す。点線はアドミタンス Y 、実線はコンダクタンス G である。空隙を設置しない場合では、共振周波数と反共振周波数の間に明瞭な横モードスプリアスが観測されるのに対して、空隙を設置した場合では、横モードスプリアスが格段に抑圧されることがわかる。電極先端からの空隙では空隙によって横モードの励振を打ち消すように横方向の粒

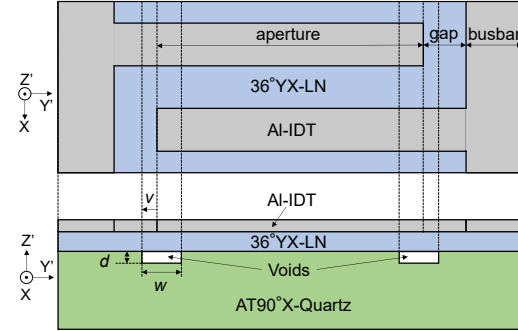


Fig. 1 Analysis model for one period with voids placed under the electrode edges.

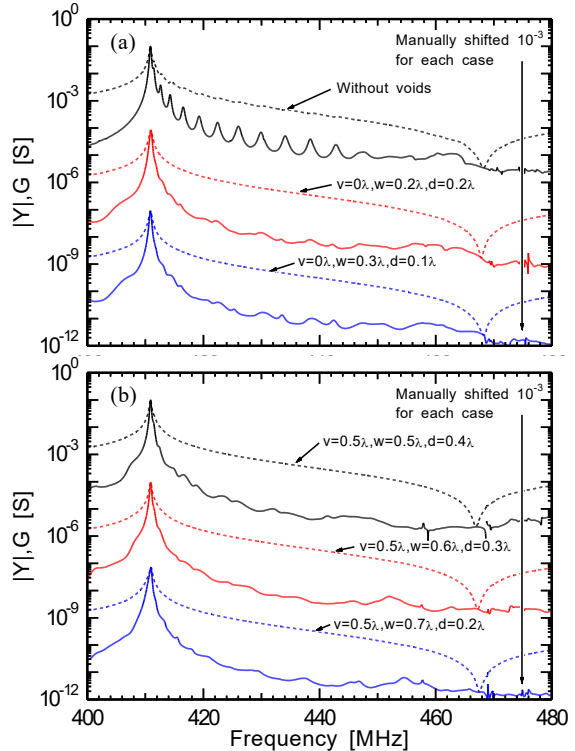


Fig. 2 Simulated LSAW resonance properties for (a) without voids and $v=0$ and (b) $v=0.5\lambda$.

子変位分布が変化する、すなわち、空隙によってピストンモードが現れると考えられる。

参考文献

- [1] M. Solal et al., Proc. IEEE Ultrason. Symp. p. 624. 2010.
- [2] S. Inoue and M. Solal, Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2020.
- [3] H. Morita, M. Suzuki, S. Kakio, and J. Mizuno, Jpn. J. Appl. Phys., **64**, 057005 (2025).

音響定在波中に浮揚する液滴の共振時における内部流動の観測

Observation of Internal Flow of a Droplet Resonating in an Acoustic Standing Wave

同志社大¹, [○](M2)平山 喬也¹, 小山 大介¹

Doshisha Univ.¹, [○](M2)Takaya Hirayama¹, Daisuke Koyama¹

E-mail: dkoyama@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

音響定在波を用いることにより mm オーダーの微小物体を非接触で捕捉することが可能であり, 液体を含む物体の非接触搬送や物性計測技術への応用が期待されている^[1]. 本報告では, 円形たわみ振動板と反射板を使用し, 板間の音響定在波中に浮揚する液滴内の流れについて検討した.

2. 実験方法

超音波浮揚には, 4つのボルト締めランジュバン型振動子 (BLT) をステップホーンを介してねじで締結したアルミニウム製の振動円板 (厚さ 3 mm, 直径 210 mm) を用いた. 振動板と同形状の反射板を 59.8 mm の距離で平行に設置し, 31 kHz の同相連続正弦波信号を各 BLT に入力することで振動板にたわみ振動を発生させ, 板間の空中に音響定在波を発生させた. マイクロピペットを用いてマイクロ粒子を含む 10 μ L の液滴 (水) を定在波の音圧節部に注入し, AM 変調信号により浮揚液滴に振動を発生させ, その様子を高速度カメラで撮影した. 共振モードが発生する液滴内部の流れについて, 粒子画像流速測定法 (PIV) により解析を行った.

3. 実験結果と考察

Fig. 1 に 64.2 Hz で発生した 2 次モードの場合の液滴内部の流れの解析結果を示す. (a) は扁平状態 (0°), (b) は扁平状態から球形への遷移過程 (92°), (c) は球形状態 (180°), (d) は球形から再び扁平状態へ戻る際の遷移過程 (257°)

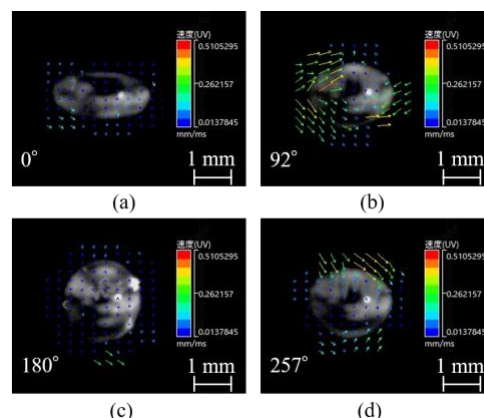


Fig. 1 Internal flow of a droplet resonating in an acoustic standing wave.

である. 扁平形状(a)および球形(c)の場合は, 液滴内部の流速は小さく顕著な流動は観測されなかった. 一方でこれらの遷移過程 ((b), (d)) では, いずれの場合においても流速ベクトルが増大し, 液滴内部の流速の平均値が増大した. 特に遷移過程(b)では, 液滴内部の流れの水平方向成分が増大し, 液滴中央を対称に上下へ分かれて流れが発生している. 逆に遷移過程(d)では, 流れの鉛直方向成分が増大し, 液滴上下から中央に向かう流れが生じていることが確認できる. 本結果より, 液滴内部の流れは超音波の信号周波数に応じて周期的に引き起こされ, 定常的に繰り返されることがわかる. 本現象を利用することで, 今後超音波による複数の液体試料の非接触混合技術などの液体ハンドリングへの応用が期待される.

参考文献

- [1] D. Koyama, K. Nakamura, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., 57, 1152, (2010).

時間ドメインの音響ゴースト回折

Acoustic Ghost Diffraction-Interference in Time Domain

東大教養・統合自然科学科¹、同大学院総合文化² 大友 浩華^{1,2}、槻 凌多²、深津 晋^{1,2}
 College of Arts and Sci.¹ and Grad. School of Arts and Sci.², UTokyo at Komaba
 Hiroka Otomo^{1,2}, Ryota Keyaki² and Susumu Fukatsu^{1,2}
 E-mail: otomo-hiroka112@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

ゴーストイメージング (Ghost Imaging) は、初期相関を用いて対象との相互作用なしに像を非局所再生する技術である。量子性・古典性に限定されない 2 経路相関を背景に、光子から電子、原子、分子を経てプラズモンやフォノンなど素励起に至るモダリティの変更が試みられてきた。なかでも可聴音から超音波を包含するフォノンは、GI 応用展開の急先鋒として期待が集まりつつある。最近、時間領域の音響 GI¹ が報告されたが、ゴースト回折 (Ghost Diffraction) には先行例がない。そこで本研究では、自由空間の超音波を用いて、この時間ドメインの音響 GD の物理実装に挑んだ。

GD の本質は 2 音子による二重スリット 1 音子干渉の模倣にあり²、図 (a) の逆線二重スリット回折の空間ドメインの配置³を時間ドメイン上に実装した。GD に必須の点検出は、離調ビート (Ω) の定時検出を通じて実現させた。一方、音源の走査は周波数掃引で置換した。40 kHz 帯の音源 (E) とマイク (R) にサブ波長 (3 mm ϕ) のアパーチャを設けた点音源・点検出器の構成において Arduino と遅延パルス発生器 (DG), 任意波形発生器 (AWG) を PC から制御した (図 (a) 挿絵)。この際、参照アームを数値データで置換するコンピューショナル GD の方式を採用した。図 (b) は、周波数 (ω_1) 掃引時に発生するビート信号の 2-D マップである。検出時間 (t_2) を固定すると周波数フリンジが観測され、時間ドメインの音響ゴースト回折・干渉が確認できる。この他、干渉縞の明瞭度の振動を通じて外部自由度フリーな量子消去とコヒーレンス制御の検証に成功した (図 (c))。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21H05585, JP23H04130, JP23H01865 を受けて行われた。

[1] Y. Tuan, H. Ge, X. -J. Zhang *et al.*, Phys. Rev. Applied **13**, 064044 (2020).

[2] Y. O-oka and S. Fukatsu, Phys. Rev. A **110**, 063505 (2024).

[3] H. Otomo, R. Keyaki and S. Fukatsu, J. Phys. Soc. Jpn. **94**, 063401 (2025).

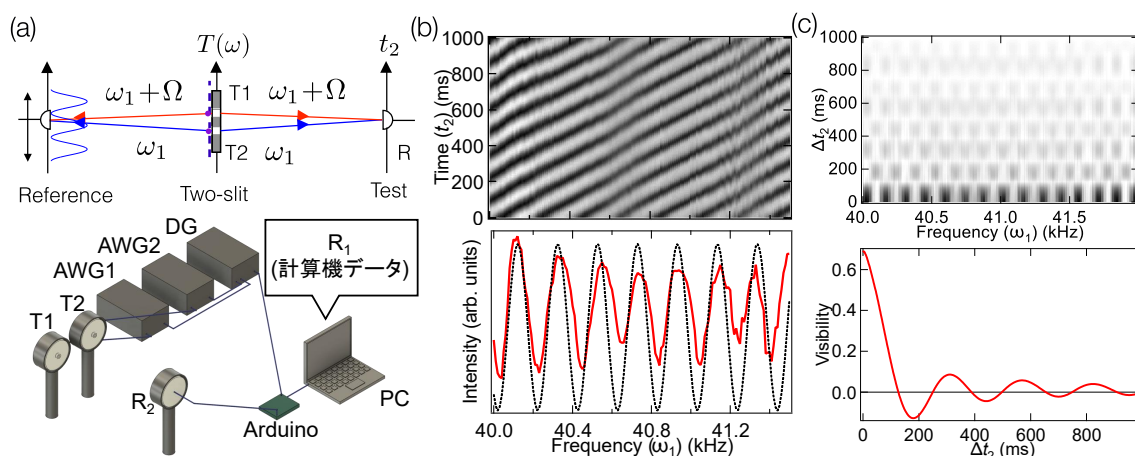


図 (a) 逆線二重スリットと音響 TGD の実験配置。 (b) 固定時刻検出と掃引周波数の相関 (上) と断面 (下)。 (c) 検出時間幅に対するフリンジと符号付き明瞭度。
 (a) Acoustic TGD setup. (b) Detection time vs ultrasound frequency (upper) and its cutaway profile (lower). (c) (Upper) Diffraction fringes; (lower) signed visibility vs time window width.

相互作用のない音響イメージング

Acoustic Interaction-Free Imaging

東大教養・統合自然科学科¹、同大学院総合文化² 大友 浩華^{1,2}、槻 凌多²、深津 晋^{1,2}
 College of Arts and Sci.¹ and Grad. School of Arts and Sci.², UTokyo at Komaba
 Hiroka Otomo^{1,2}, Ryota Keyaki² and Susumu Fukatsu^{1,2}
 E-mail: otomo-hiroka112@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

相互作用のないイメージングは、対象を直接見ることなく検出が可能な測定法 (Interaction-Free Measurement)¹ が原理である。本研究では、この IFM の概念を音響系に拡張し、超音波を用いて物理実装を試みた。超音波イメージングは、光が透過しない領域にも適用が可能であり、生体内イメージングや構造物の非破壊検査など多方面で実用化に供している。しかし、これらは本質的に反射や散乱にともなう 2 次波の観測であるため、超音波照射と対象との相互作用が不可欠である。ところが干渉縞の変化を間接的に検出する IFM を用いれば、超音波曝露を最小限に抑えたい繊細な対象の検出や、キャビテーション発生の回避、反射信号が得られない複雑な内部構造や閉鎖空間における障害の検出など、広範囲に低侵襲な超音波イメージングを開拓できる可能性が浮上する。

本研究で提案する IFM の実装系では、1 音子干渉の音圧検出強度の変化から対象を検出する。図 (a) のように 40 kHz 帯のスピーカーを Arduino と任意波形発生器を用いて PC 制御し、マイクで拾った音圧信号を Arduino を経由で自乗検波した。分波・合波分岐を有する可変長の参照経路とイメージング対象の挿入用スロットが空いたテスト経路の系を軸対称導波路を用いて実装した。

図 (b) は参照経路長を掃引したときに得られた干渉 (縞) フリンジのパターンである。テスト経路にイメージング対象を挿入することでパターン形状が劇的に変化する (赤)。とくに挿入前にダークフリンジだった矢印部分で顕著な検出強度の増大が観測される。これは、片方の経路に対象を挿入することで超音波の重ね合わせにおける弱め合いの条件が強め合いに変化 (理想的には参照経路の超音波のみが検出されること) を意味し、音響 IFM の動作原理を裏づける実験結果である。これを 2 音子干渉計² に組み込むことで非検出フォノンによるイメージングの実現が期待される。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21H05585, JP23H04130, JP23H01865 を受けて行われた。

[1] A. G. White *et al.*, PRA **58**, 605 (1998). [2] H. Otomo *et al.*, JPSJ **94**, 063401 (2025).

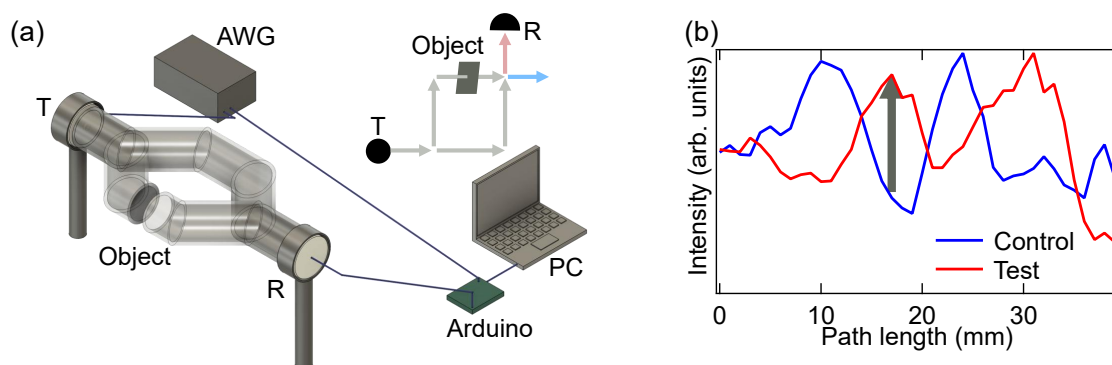


図 (a) 実験配置.(b) 参照経路長に対する干渉フリンジ (青) とイメージング対象の挿入にともなう変化 (赤).

(a) Acoustic IFM setup. (b) Interferencefringes patterns. Note the sudden jump upon object insertion (arrow).

波長よりも大きな物体を隠せる音響カーペットクロウクの設計法

Design Method of Acoustic Carpet Cloaks

for Hiding Larger Objects than the Wavelength

鹿児島大学, °(M1)上野 温翔, 永山 務, 福島 誠治, 渡邊 俊夫

Kagoshima Univ., °Haruka Ueno, Tsutomu Nagayama, Seiji Fukushima, Toshio Watanabe

E-mail: k9710215@kadai.jp

1. はじめに

音響カーペットクロウクとは, 平面上に置かれた物体を覆い, 何も置かれていない平面に音波を入射した場合と同じ反射波を模擬することで, 物体を音波から見えなくする反射型音響透明マントのことである. 変換音響学の概念に基づく手法[1]をはじめ, 様々な設計手法が提案されているが, 多くの場合は実現性の問題から波長よりも小さな物体しか隠すことができないという課題があった. 本研究では, 1次元伝送線路を用いた電磁波に対する設計法[2]を音波に導入し, 波長より大きな物体を隠せる音響カーペットクロウクの構成を試みた.

2. 設計式および構成した音響カーペットクロウク

図1に電磁波から音波に導入する設計法の概念を示す[1]. 緑の領域は幅が $2p$, 高さが h , 隠す領域の高さが A の音響カーペットクロウクを表し, 1次元伝送線路によって領域が離散化されている. ここで, 音響カーペットクロウクに対して $+y$ 方向から $-y$ 方向へ音波(平面波)を垂直入射することを考える. もし経路によらず反射位相を $(x, y) = (\pm p, h)$ 上のそれ $(2\beta h)$ と一致させることができれば, 平面 $(y=0)$ からの反射を模擬できる. これは, 1次元伝送線路の線路長 $l(x)$ を次式から決めれば実現できる.

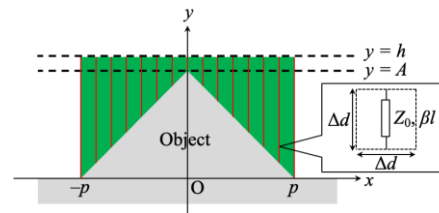


図1 1次元伝送線路を用いた設計法.

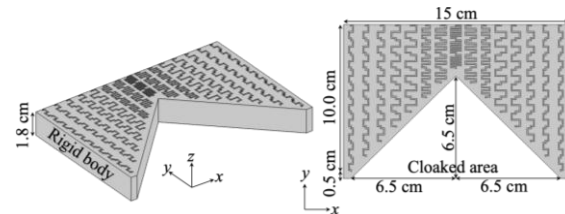


図2 構成した音響カーペットクロウク.

$$l(x) = \frac{\sqrt{2}h}{\frac{A|x|}{p\Delta d} + \frac{h-A}{\Delta d}} \quad (1)$$

ここで, $\sqrt{2}$ は2次元の定数を表す[2]. 式(1)に基づき, 図2のように幅が 0.8 mm の1次元ミアンダ音響導波路構造(導波路内:空気, 灰色:剛体)を用いて音響カーペットクロウクを構成した. 各パラメータは実現性を考慮して決め, 上部にテーパ導波路を設けて使用することを想定している.

3. まとめ

電磁波における設計法を音波に導入し, 波長より大きな物体を隠せる音響カーペットクロウクを構成した. 発表では, シミュレーションおよび音圧分布測定の結果についても示す予定である.

参考文献:[1] S. A. Cummer, et al., *New J. Phys.*, vol. 9, no. 45, pp. 1–8, Mar. 2007. [2] Y. Sonoda, et al., in *2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Dec. 2022, pp. 76–78.

音響トポロジカル導波路のための2種類の菱形単位セル構造

Two Types of Rhombic Unit Cell Structures for Acoustic Topological Waveguides

鹿児島大学, °(M1)永用 陽大, 永山 務, 福島 誠治, 渡邊 俊夫

Kagoshima Univ., °Hinata Nagayo, Tsutomu Nagayama, Seiji Fukushima, Toshio Watanabe

E-mail: k1892410@kadai.jp

1. はじめに

近年、曲がりや分岐で反射波が発生しない音響トポロジカル導波路が注目され、低損失な音響デバイスの実現が期待されている[1]。我々は同導波路の構成に必要な、同一の周波数バンドギャップを持ちながらトポロジーの異なる2種類の単位セル構造を理論的に設計可能な回路モデル[2]を提案しているが、具体的な構造は未検討であった。本稿では、回路モデルの特性を実現しうる2種類の菱形単位セル構造を提案し、周波数分散特性を計算して理論計算による結果と比較する。

2. 提案する菱形単位セル構造

図1に回路モデル[2]および提案する音響導波路による単位セル構造(灰色:剛体, 白:空気)を示す。今回、モデル1および2の回路定数は $Z_{01}:Z_{02}=1:2$ および $\beta_1 l_1 = \beta_2 l_2$ に設定し、この条件および実現性を考慮してパターン1および2の設計値を $w_1 = 8 \text{ mm}$, $w_2 = 4 \text{ mm}$, および $l_1 = l_2 = \Delta d/2 = 12.5 \text{ mm}$ とした。次章では、提案構造の周波数分散特性を固有値解析により計算し、理論と比較する。

3. 周波数分散特性

周波数分散特性の結果を図2に示す。同図の結果から、提案構造は理論計算と同程度の帯域に周波数バンドギャップを持つことが分かる。ただし、理論計算には無いモードが存在し、周波数バンドギャップも僅かにずれたため、パターン2の w_1 および w_2 をそれぞれ 3 mm および 6.5 mm に調整した。図2には調整後の結果を示しており、提案構造の周波数バンドギャップはいずれも 5.89 kHz から 8.84 kHz で一致していることが分かる。

4. まとめ

トポロジカル導波路の構成に必要な2種類の単位セル構造を提案し、回路モデルの設計式に基づいて設計値を決定した。それぞれの周波数分散特性を計算した結果、理論に近い特性が得られ、設計値を僅かに調整するだけで周波数バンドギャップを容易に一致させられることが分かった。

参考文献:[1] Y. Nii and Y. Onose, *Phys. Rev. Applied*, Jan. 2023. [2] T. Nagayama, *EuMC 2024*, Sep. 2024.

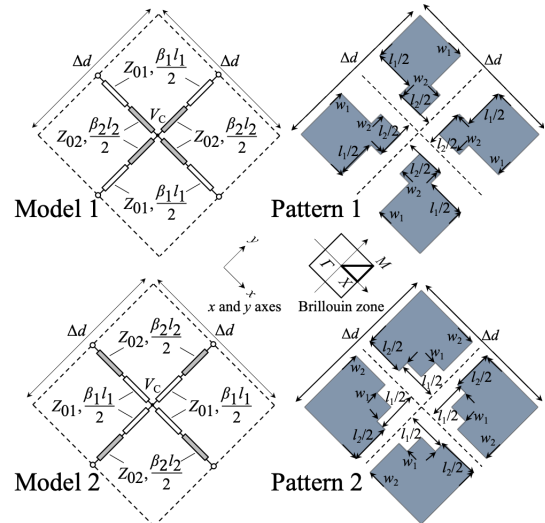


図1 回路モデルと提案する単位セル構造。

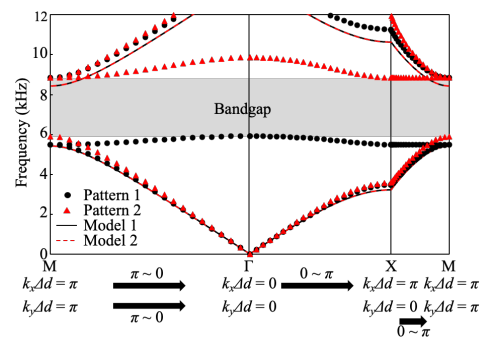


図2 周波数分散特性の計算結果。

圧電センサで簡易計測した頸動脈波の年齢依存性

Evaluation of age-related carotid pulse waveform measured by a piezoelectric sensor

同志社大理工¹, 奈良医大², 筑波大³, [○](M2)池田 智哉¹, (M2)秋吉 恒輝¹, 大崎 美穂¹,
白浜 公章¹, 斎藤 こずえ², 山上 宏³, 松川 真美¹

Doshisha Univ.¹, Nara Medical Univ.², Tsukuba Univ.³, [○](M2) Tomoya Ikeda¹, Koki Akiyoshi¹, Miho Ohsaki¹, Kimiaki Shirahama¹, Kozue Saito², Hiroshi Yamagami³, Mami Matsukawa¹

E-mail: ctwk0308@mail4.doshisha.ac.jp

1. はじめに

頸動脈波に含まれる脳からの反射波は脳動脈の硬さ情報を反映することが報告されている^[1]. そこで, 加齢による脳動脈硬化を検討するため, 申請者らが開発した安価かつ小型な圧電センサを用いて各年齢層の頸動脈波を計測した.

加齢による脈波波形の変化の特徴を把握できれば, 脳動脈硬化のスクリーニングに応用できる可能性がある. ただし, 脈波は動脈硬化だけでなく, 心臓から駆出される血流の影響を受ける. そこで, 本研究では頸動脈波と頸動脈の血流波形の年齢依存性を検討した.

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代と60代の健康者36名である. 仰臥位で安静にした後, 左の総頸動脈の脈波を圧電センサ(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

脈波と血流速度波形は3つのピークからなる. 脈波では第2ピーク付近に脳内血管床からの反射波が重畳する. これらのピークの特徴を抽出するため, ワイブル分布^[2]の形状を用いてピークを抽出した. Fig.1のワイブル分布では a は水平スケーリング, b は形状, c は垂直スケーリングを表す. 反射を含む脈波と血流速度で形状に違いが見られるため, 第2ピークの形状パラメータ b に着目した (Fig. 2). ばらつきはあるが, 年齢に伴い値が小さくなり, 高齢者はよりレイリー分布に近い形状 ($b=2$) を示した. そこでまずは20代と60代に着目した. データ数が多くないためソフトマージンのサポートベクターマシン (SVM) を用

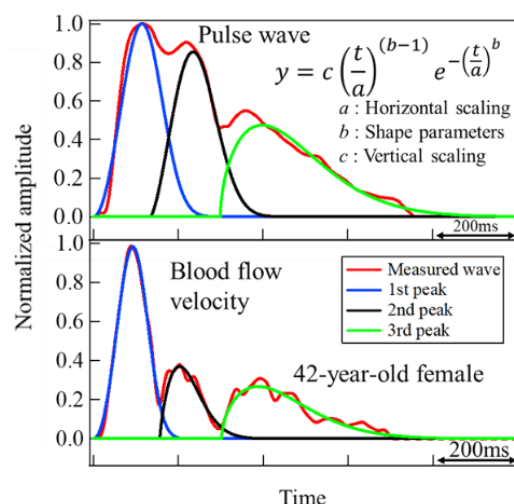


Fig. 1 Waveform and fitting method by the shape of Weibull.

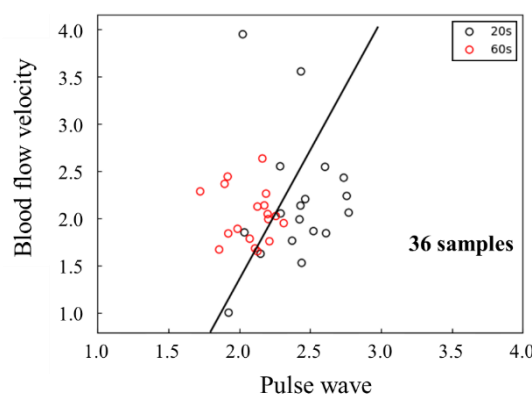


Fig. 2 Classification by soft margin SVM.

いたところ, 分類の精度は80%となった. また, 決定境界線の傾きは2.7となり, 第2ピークの形状パラメータ b の違いは脈波でより顕著であることが分かった.

今後は被験者数を増やし, より複雑なモデルで分類することで, 加齢による動脈硬化の指標の確立を目指す.

参考文献

- [1] M. Saito et al.: IEEE TUFFC. 59 (2012) 2411.
- [2] 唐沢好男, 改訂: デジタル移動通信の電波伝搬基礎, コロナ社, 2016

狭窄をもつ血管モデルの壁近傍におけるせん断応力評価

Evaluation of shear stress near the wall of a cerebral artery model with stenosis

同志社大理工, O(M2)秋吉 恒輝, 池田 智哉, 松川 真美

Doshisha Univ., °(M2) Koki Akiyoshi, Tomoya Ikeda, Mami Matsukawa

E-mail: ctwk0302@mail4.doshisha.ac.jp

1. はじめに

脳動脈閉塞や狭窄は頸動脈の超音波ドプラや脈波計測により評価できる可能性がある[1].そこで自作の透明血管モデルを用いて、脳大動脈中の狭窄が頸動脈波に与える影響を検討した.特に、狭窄をもつ血管モデルを作製し、狭窄付近の流速及びせん断応力(WSS)を、粒子画像流速測定法(PIV)で検討した.

2. 実験方法

Fig.1 に実験の詳細を示す. シリコンゲル (Momentive Performance, TSE3062, TSE3450) を混合して作製した高齢者の透明総頸動脈モデル (ヤング率 150 kPa, 末端反射波の重畳を避けるため, 全長 4650 mm) にポンプ (トミタエンジニアリング) を接続し, 血液と同程度の粘度のグリセリン水溶液 (重量濃度 45 %) を吐出した. ポンプからの吐出流量は図の通りである. モデル内に同じシリコンゲルで作製した内径 8 mm, 狭窄率 50%の片側狭窄を挿入した. X 軸を流れの方向とし, 最狭窄位置を $X = 0$, 管底を $Y = 0$ とした. 流れを PIV システム (k8-USB, Kato-Koken) により計測し, 狭窄を考慮して $Y = 7 \text{ mm}$ での流速や WSS を示す.

3. 結果および考察

狭窄のない直管モデルの最大流速は0.52 m/s, WSS は 1.5 Pa であった. 正常な WSS は 1~7 Pa [2]であり, 今回の実験ではこの範囲内にある.

狭窄モデル中の最大流速は最狭窄部の少し後方 (X = 3 mm) で観測された. 血管モデル上側壁面付近のせん断応力を Fig.2 に示す.

WSS は 2 mm で最大 2.40 Pa を示したのち、徐々に低下したが、7 mm 付近で低下が大きかった。生体内の狭窄に近い形状を検討する必要があるが、片側狭窄の場合、最狭窄部の少し後方で摩擦の変化が示唆された。

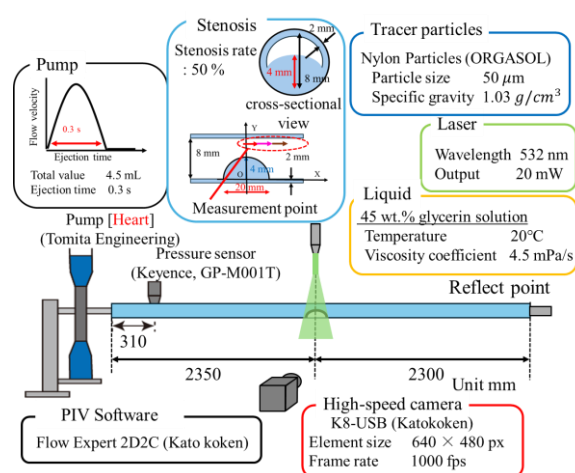


Fig.1 Experimental system used.

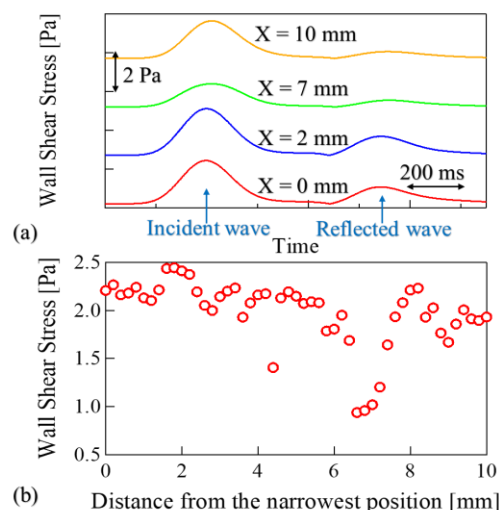


Fig.2 WSS on the upper side near the stenosis.

参考文献

- [1] M.Saito, et al. IEEE TUFFC, 59, 2411, 2012.
[2] Malek et al., JAMA, 282, 2035, 1999