

芳香族化合物のメタルフリートリフルオロメチル化および酸素化光触媒反応

先導的学際研究機構 創薬サイエンス部門

教授 大久保 敬

 Researchmap https://researchmap.jp/Kei_Ohkubo

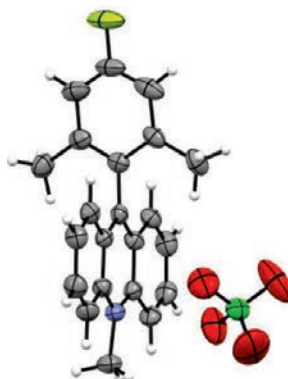


研究の概要

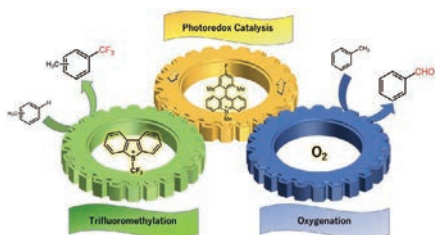
9-(4-クロロ-2,6-キシリル)-10-メチルアクリジニウムが、光照射によって高い酸化力および還元力を有する長寿命の光電子移動状態を生成することを明らかにした。この分子をフォトレドックス触媒として用いることによって、金属フリー、室温、可視光照射下で芳香族化合物の効率的なトリフルオロメチル化を達成することに成功した。

研究の意義と将来展望

フォトレドックス触媒を用いた新しい反応技術は、化学合成における持続可能性の向上に大きな可能性をもたらすものである。我々の研究では、金属フリーの触媒系を開発し、これにより従来の金属触媒を使用せずに、芳香族化合物のC-H結合を効率的に活性化させ、トリフルオロメチル基を直接導入する反応を実現した。この手法は、従来の方法以上の高い効率と選択性を持つことから、特にグリーンケミストリーの分野で注目されている。さらに、光触媒の強力な酸化力を活用することで、トルエンのような単純な化合物を酸素化し、ベンズアルデヒドなどの付加価値の高い化合物へ変換する反応にも成功している。この酸素化反応は、酸素や空気を酸化剤として利用できるため、従来の過酸化剤や高酸化剤を必要としない安全でエネルギー効率の高いプロセスを実現している。医薬品開発では金属残留の規制が厳しいが、この技術は金属フリーであるため、有効な手法として期待される。



フォトレドックス触媒：9-(4-クロロ-2,6-キシリル)-10-メチルアクリジニウム ($\text{Acr}^+\text{-XylCl}$) 過塩素酸塩



フォトレドックス光触媒系

特 許 特許第5470623号、特許第5213142号

論 文 Ohkubo, Kei et al. 9-(4-Halo-2,6-xylil)-10-methylacridinium ion as an effective photoredox catalyst for oxygenation and trifluoromethylation of toluene derivatives. ACS Catalysis. 2024, 14, 2671-2684. doi: 10.1021/acscatal.3c06111

参 考 URL <https://www.irds.osaka-u.ac.jp/ohkubo/>

キーワード 触媒、光化学、創薬



「土に還る」循環型土壌含水率センサ

産業科学研究所 自然材料機能化研究分野

助教 春日 貴章

 Researchmap <https://researchmap.jp/tkasuga>


研究の概要

本研究では、紙、天然ワックス、錫など環境に配慮した材料のみで構成された土壌含水率センサの開発に成功しました。開発したセンサは、検出した土壌の水分量を熱として発信し、その熱をサーマルカメラを用いて撮影することで、センサの設置位置と土壌含水率を遠隔から同時に取得することが可能です。これまで生分解性プラスチックなどを用いた環境に優しい電子材料に関する研究は数多く行われてきましたが、性能や安定性に課題があり、分解性とセンサとしての必須機能（センシング・データ発信・設置位置情報発信）を両立することが困難でした。本研究では単純な構造のセンサと無線給電、そしてサーマルカメラを組み合わせることで、センサ自体の分解性と必須機能を両立した新しいコンセプトのセンシングシステムを実証することに成功しました。これにより、環境に優しい、持続可能なセンサ技術の発展や、「センシングできる肥料」などの新技術の開拓が期待されます。

研究の意義と将来展望

本研究成果により、環境に優しい、持続可能な電子産業の発展や、分解性センサを用いた新たなセンシングシステムの開発が期待されます。人にも環境にも優しい未来の実現に向けて、より高性能な「土に還る」センサの実現・社会実装の加速が期待できます。

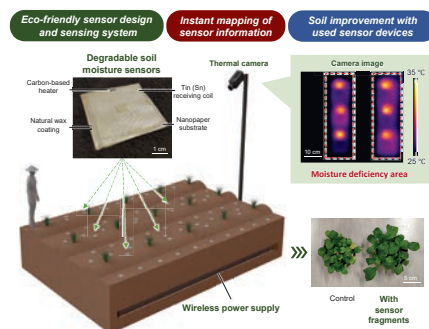


図1

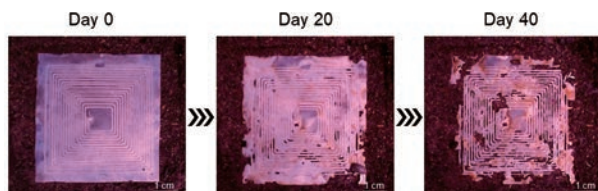


図2

特 許 特願2023-072321

論 文 Kasuga, Takaaki et al. Wirelessly powered sensing fertilizer for precision and sustainable agriculture. Advanced Sustainable Systems. 2023, 8, 2300314. doi: 10.1002/adssu.202300314

参考 URL https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2023/20231017_1

キーワード 分解性センサ、ナノセルロース、無線給電



体外排出可能な柔らかい¹⁹F MRI 用ポリマーナノ粒子

工学研究科 応用化学専攻

教授 菊地 和也

<https://researchmap.jp/kikuchilab315>

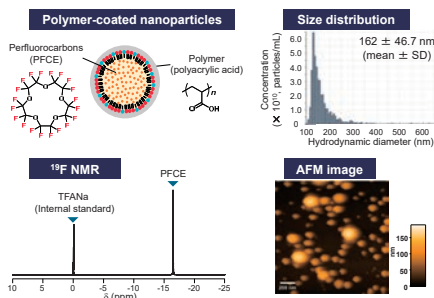
准教授 養島 維文

https://researchmap.jp/cbatgcm_m33

研究の概要

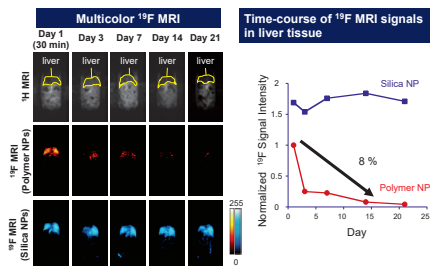
¹⁹F 核磁気共鳴画像法 (¹⁹F MRI) は生体内に投与したフッ素化合物由来のシグナルを高いコントラストで画像化できる手法である。本研究では¹⁹F MRIにより検出可能なプローブとして、フッ素を分子内に多量に含むパーフルオロカーボンにエマルジョン化し、その外側をポリマーによって被覆したナノ粒子を作製した。ナノ粒子の物性を評価したところ、直径100 nm程度のパーフルオロカーボンが内包された粒子であることが確認された。また、柔らかく弾性を有するナノ粒子であることも分かった。このナノ粒子をマウスに投与し、¹⁹F MRIにより撮像したところ、投与直後は肝臓で見られた¹⁹F MRIシグナルが日数経過とともに減衰していく様子が観察された。この結果は柔らかいナノ粒子が肝臓に蓄積せず、徐々に体外に排出されることを示している。

ることが示された。新たに開発したポリマーナノ粒子は排出可能な¹⁹F MRIプローブとして生体イメージングへの応用が期待される。加えて本知見はプローブやドラッグのキャリアとして用いられるナノ粒子のデザインや評価に応用できるものと考えられる。



研究の意義と将来展望

¹⁹Fを観測対象とする¹⁹F MRIは内在性のバックグラウンドシグナルがなく、生体深部において投与したプローブ由来のシグナルを選択的に検出できる利点がある。以前当グループで報告した硬いシリカナノ粒子からなるプローブは長期間肝臓に蓄積することが見られていたが、本研究で開発した柔らかいポリマーナノ粒子は肝臓からの排出が見られており、ナノ粒子の材質により体内動態が大きく変わる



特 許

論 文

Konishi, Yuki; Minoshima, Masafumi; Kikuchi, Kazuya et al. Elastic polymer coated nanoparticles with fast clearance for ¹⁹F MR imaging. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, 62 (40), e202308565. doi: 10.1002/anie.202308565

参考URL

<https://www.molpro-mls.eng.osaka-u.ac.jp/>

キーワード

¹⁹F MRI、生体イメージング、ナノ粒子

ナノ構造炭素触媒を用いた 電気化学的 CO₂資源化反応

工学研究科 マテリアル生産科学専攻

准教授 栗原 泰隆

 Researchmap <https://researchmap.jp/yasutakakuwahara/>



研究の概要

地球温暖化に対する懸念から、温室効果ガスの一つである二酸化炭素 (CO₂) を有価物質へと資源化する物質変換システムの実現が求められています。電気化学的 CO₂還元反応は常温・常圧条件で進行することに加え、高付加価値な炭素有機化合物を一段階で合成できることから、効率的な CO₂資源化技術として関心を集めていますが、電子利用効率の低さや、生成物の選択性の低さが依然として課題です。我々は、ユニークなナノ構造を持ち、高い導電性と表面積を有する炭素材料に活性金属種 (Co, Ni など) を固定化した触媒を電気化学的 CO₂還元反応に用いると、高い電子利用効率で CO₂を工業的に有用な一酸化炭素 (CO) へと変換できることを見出しました。また、本反応では水の還元により水素 (H₂) も副生してしましますが、炭素材料の組成や活性金属種の化学状態を制御することで、H₂の副生を抑制し、高い選択性で CO を合成できることを見出しました。

研究の意義と将来展望

電気化学的 CO₂還元反応により得られる CO と H₂ の混合気体 (合成ガス) は、アルコールやガソリン、ジェット燃料などの液体炭化水素の原料に利用できることから、本技術はカーボンニュートラル社会の実現に向けたク

リーンな CO₂変換技術として期待されます。今後は作動電圧の低減や電流密度の向上、耐久性向上に向けた取り組みにより、実用化を目指します。



図1 電気化学的 CO₂還元による CO₂の有価物質への変換

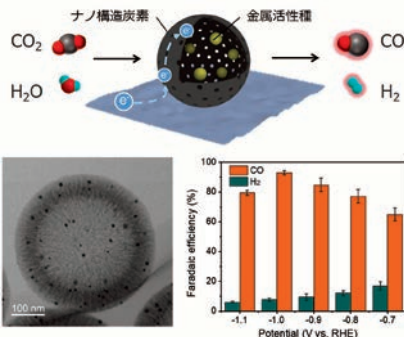


図2 ナノ構造炭素触媒を用いた電気化学的 CO₂還元による CO の合成 (上)、ナノ構造炭素触媒の TEM 像 (左下)、CO および H₂ に対する電子利用効率 (右下)

特 許

論 文

Li, Kaining; Kuwahara, Yasutaka; Yamashita, Hiromi et al. Hollow carbon sphere featuring highly dispersed Co-Ni₂S₄ sites for efficient and controllable syngas electrosynthesis from CO₂. *Chemical Engineering Journal*. 2024, 488, 150952. doi: 10.1016/j.cej.2024.150952
Li, Kaining; Kuwahara, Yasutaka; Yamashita, Hiromi. Poly(ethyleneimine)-assisted synthesis of hollow carbon spheres comprising multi-sized Ni species for CO₂ electroreduction. *Chinese Journal of Catalysis*. 2024, 64, 66-76. doi: 10.1016/S1872-2067(24)60087-2
Li, Kaining; Kuwahara, Yasutaka; Yamashita, Hiromi. Aminopolymer-functionalized hollow carbon spheres incorporating Ag nanoparticles for electrochemical syngas production from CO₂. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2023, 331, 122713. doi: 10.1016/j.apcatb.2023.122713

参考 URL

<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp1/MSP1-HomeJ.htm>

キーワード

CO₂回収利用、CO₂資源化、電気化学的触媒反応、炭素材料



カニ殻ナノキチンを用いた弾性カーボンエアロゲルの調製とスマート電磁波吸収応用

産業科学研究所 自然材料機能化研究分野

准教授 古賀 大尚

Researchmap <https://researchmap.jp/hkoga>

研究の概要

電磁波汚染の懸念が高まる中、高性能な電磁波吸収材料の重要性が益々高まっています。本研究ではまず、カニ殻由来ナノキチンの水分散液を原料に用い、一方向凍結乾燥と炭化プロセスによって、カーボンエアロゲルを調製しました。本カーボンエアロゲルは、一方向凍結乾燥で形成されたマイクロハニカムチャンネル構造、および、炭化で形成された適度な欠陥カーボン分子構造により、優れた電磁波吸収性能を発揮しました。

また我々は、本カーボンエアロゲルが、マイクロハニカムチャンネルに対して垂直方向に、可逆的に圧縮可能な弾性も有していることを見出しました。そして、この弾性カーボンエアロゲルの圧縮歪みを制御することで、電磁波の吸収周波数をチューニング、さらには、電磁波の吸収 / 透過をスイッチングすることに成功しました。このような吸収周波数のチューニングと電磁波の吸収 / 透過スイッチングは、少なくとも6万回の圧縮・回復サイクルにおいて繰り返し可能でした。

研究の意義と将来展望

本研究成果は、カニ殻等の甲殻類から得られるナノキチンに、スマートで堅牢な電磁波吸収材料としての新たな価値を生み出すもの

です。無線通信社会における電磁波汚染の改善に貢献します。持続可能なバイオナノマテリアルのさらなる高付加価値化に向け、今後も研究を推進していきます。

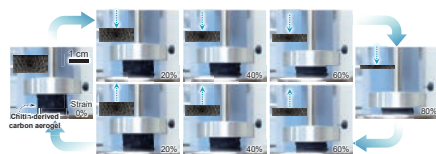


図1

(cc BY, credit: 2023 Li et al. Frequency-Tunable and Absorption/Transmission-Switchable Microwave Absorber Based on a Chitin-Nanofiber-Derived Elastic Carbon Aerogel. Chemical Engineering Journal)

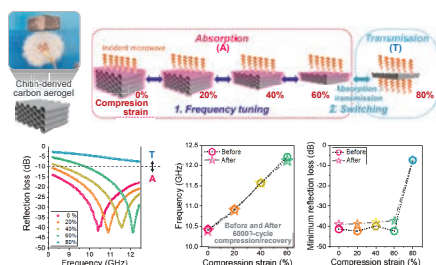


図2

(cc BY, credit: 2023 Li et al. Frequency-Tunable and Absorption/Transmission-Switchable Microwave Absorber Based on a Chitin-Nanofiber-Derived Elastic Carbon Aerogel. Chemical Engineering Journal)

特 許	
論 文	Li, Xiang; Koga, Hirotaka et al. Frequency-tunable and absorption/transmission-switchable microwave absorber based on a chitin-nanofiber-derived elastic carbon aerogel. Chemical Engineering Journal, 469, 144010. doi: 10.1016/j.cej.2023.144010 Li, Xiang; Koga, Hirotaka et al. Chitin-derived-carbon nanofibrous aerogel with anisotropic porous channels and defective carbon structures for strong microwave absorption. Chemical Engineering Journal, 450, 137943. doi: 10.1016/j.cej.2022.137943 Li, Xiang; Koga, Hirotaka et al. All-nanochitin-derived, super-compressible, elastic, and robust carbon honeycomb and its pressure sensing properties over an ultrawide temperature range. ACS Applied Materials & Interfaces, 15(35), 41732-41742. doi: 10.1021/acsami.3c08587
参考URL	http://kogahirotaka.com/
キーワード	ナノキチン、弾性カーボンエアロゲル、電磁波吸収

Ti-Zr 積層造形合金製 ジャイロイド構造体

接合科学研究所

教授 近藤 勝義

助教 Issariyapat, Ammarueda



<https://researchmap.jp/kondoh>



<https://researchmap.jp/ammarueda>

研究の概要

生体医療用途への展開を目指して、無毒性成分を利用した新たな高強度チタン合金を開発し、金属積層造形（以下、AM）を用いた三次元複雑構造体の創製および力学特性評価を行った。チタンと同様に、生体適合性を有するジルコニウム（Zr）を添加した強度と延性に優れた Ti-Zr 合金を開発するとともに、構造最適化による内部の空間制御を通じて低剛性化に成功した。本研究により、人工骨をはじめとする体内埋め込み型部材としての高い安全性を有する新規チタン材の合金・プロセス設計指針を確立するとともに、広範囲での製品・用途への適用可能性を明らかにした。

ングレードリサイクルを基本としたライフサイクル設計が基本である。チタンは特定資源物資である航空機部材として主に使用されることを考えると、今後は経済と環境の好循環を可能とする高度な資源循環（サーキュラーエコノミー）プロセスの構築に向けた研究を積極的に推進する。

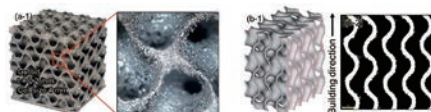


図1 (a) Ti-7%ZrH₂ 組成からなるジャイロイド構造体の外観と (b) 断面構造の観察結果

研究の意義と将来展望

Well-being な社会創造を目指す中で、高齢者にとって健康かつ幸福で安心できる生活環境を長期にわたり支えることは重要な課題である。そのために人工骨、歯科用インプラントや人工補助心臓など体内埋め込み型部品やシステムの小型化・高機能化は有用な手段である。これを実現する素材として、本開発チタン合金は高い可能性を有する。一方、チタン製部品では寿命を迎えると、鉄鋼添加用途やスクラップ処分といった一方通行型ダウ

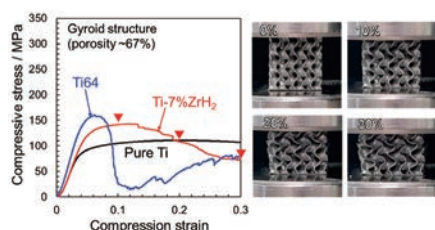


図2 Ti-7%ZrH₂ 合金、Ti64合金および純 Ti で作製したジャイロイド構造体の圧縮応力-歪み線図。Ti-7%ZrH₂ 合金試料の圧縮変形挙動のその場観察（圧縮歪み：0～30%）

特 許

論 文

Issariyapat, Ammarueda; Huang, Jeff; Kondoh, Katsuyoshi et al. Microstructure refinement and strengthening mechanisms of additively manufactured Ti-Zr alloys prepared from pre-mixed feedstock. Additive Manufacturing. 2023, 73, 103649. doi: 10.1016/j.addma.2023.103649
Issariyapat, Ammarueda; Kariya, Shota; Kondoh, Katsuyoshi et al. Solute-induced near-isotropic performance of laser powder bed fusion manufactured pure titanium. Additive Manufacturing. 2022, 56, 102907. doi: 10.1016/j.addma.2022.102907

参考 URL

<https://www.jwri.osaka-u.ac.jp/~dpt6/index.html>

キーワード

チタン、ジルコニウム、金属積層造形、ジャイロイド構造



過酷な環境下で動作する メモristaデバイスの開発

基礎工学研究科 システム創成専攻

教授 酒井 朗



<https://researchmap.jp/read0192520>



研究の概要

自動車、航空宇宙、IoT などの分野では、過酷な環境下でも安定動作する次世代メモリデバイスが不可欠である。特に金属酸化物を用いたメモrista（抵抗変化型メモリデバイス）は、内部の酸素空孔イオン等の分布変化により不揮発な抵抗変化を示し、その構造のシンプルさや低消費電力性から研究開発が興隆している。我々はワイドギャップ半導体である酸化ガリウムから還元性アモルファス酸化ガリウム（a-GaOx）薄膜を生成してメモristaを作製し、その高温動作に成功した。現在主流であるシリコン系メモリデバイスが125℃を越える動作温度では信頼性が確保できないのに対し、本 a-GaOx メモrista では300℃以上の高温下でも安定したメモリ特性が得られる。また、将来的に3次元高度集積回路へと発展させるために、上下の微細電極バーから構成される a-GaOx クロスバーアレイメモrista の作製にも成功した。

研究の意義と将来展望

a-GaOx メモrista は、通常のストレージデバイスとしての用途のみならず、その構造のクロスバーアレイ化によって、人工ニューラルネットワークにおける人工シナプス素子として機能させることができる。今回開発された高温耐性を有する a-GaOx メモrista は、

過酷な環境下でも安定動作が可能な AI のエッジデバイスへの応用に際し高いポテンシャルを有している。

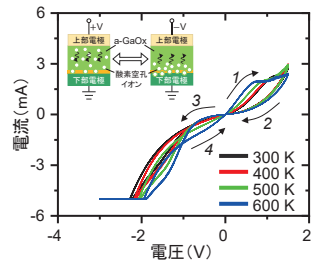


図1 還元性アモルファス酸化ガリウムメモrista の電流-電圧特性 600 K (327℃) の高温下においても1→2→3→4に従う逆8の字型ヒステリシスをもつフィラメント型の抵抗変化が生じる

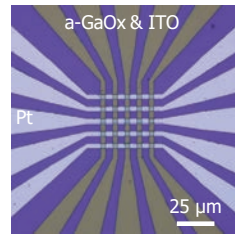


図2 還元性アモルファス酸化ガリウムを用いたクロスバーアレイメモrista の光学顕微鏡像 Pt 電極バーと ITO 電極バーに挟まれたクロスポイントの大きさは3 μm × 3 μm

特 許 特許第7591784号

論文

Sato, Kento; Hayashi, Yusuke; Sakai, Akira et al. High-temperature operation of gallium oxide memristors up to 600 K. Scientific Reports. 2023, 13, 1261. doi: 10.1038/s41598-023-28075-4
Masaoka, Naoki; Hayashi, Yusuke; Sakai, Akira et al. Interface engineering of amorphous gallium oxide crossbar array memristors for neuromorphic computing. Japanese Journal of Applied Physics. 2023, 62, SC1035. doi: 10.35848/1347-4065/acb060

参考URL

<http://www.nano.ee.es.osaka-u.ac.jp/>

キーワード

メモrista、抵抗変化型メモリデバイス、高温動作、酸化ガリウム、AI

光 / 電気エネルギーを駆動力とする低反応性有機分子への CO₂ 挿入反応の開発

工学研究科 応用化学専攻

助教 嵯峨 裕

 Researchmap <https://researchmap.jp/ysagagerrard>



研究の概要

深刻なエネルギー・環境問題を背景として、地球上に豊富に存在する安価な資源から、再生可能エネルギーを利用して、医薬品等の高付加価値分子合成を可能とする「エコ」な新規技術が希求されている。今回筆者らは、安価かつ豊富な CO₂ と炭化水素アルケンを用いて、再生可能エネルギーから入手可能な可視光を駆動力とした、医薬品重要骨格 γ-ケト酸の1段階合成に世界で初めて成功した。同時に、アルケン、アシル基、カルボキシル基の3成分を一挙に連結する初の3成分アシルカルボキシル化反応も達成した。

研究の意義と将来展望

「炭化水素への CO₂ 挿入反応」は、温室効果ガスを削減し、環境負荷を与えることなく医薬品等に多く含まれるカルボン酸骨格をわずか1工程で供給しうる魅力的な化学変換である。しかし、炭化水素・CO₂共に活性化が困難な安定分子であり、この2つを原料とする本反応は未だに最難関の化学変換である。本情勢の下筆者らは、光駆動触媒系の精密設計を基盤として、炭化水素アルケンへの世界初の3成分アシルカルボキシル化反応を達成した。また同時に、医薬品に頻繁に見られる

γ-ケト酸骨格の初の1段階合成も達成した。現在、同じく再生可能エネルギーから容易に入手可能な電気を駆動力とした、炭化水素への CO₂ 挿入反応の開発にも成功している。今後も、地球環境に調和しながら人類の生活と健康に不可欠な分子を自在に合成・供給する、次世代型技術の創製を目指していきたい。

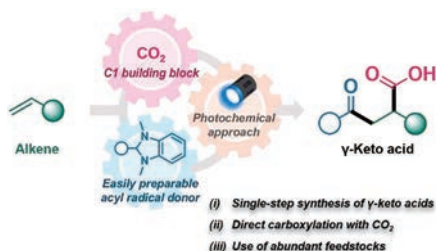


図1 アルケンの可視光駆動3成分アシルカルボキシル化反応の開発

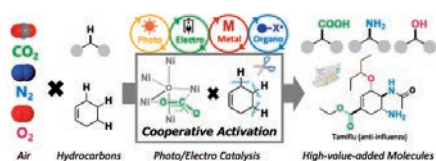


図2 将来展望：光 / 電気を駆動力とした、汎用資源からの医薬骨格群迅速合成

特許

論文

Saga, Yutaka; Masaoka, Shigeyuki et al. Photocatalytic three-component acylcarboxylation of alkenes with CO₂. Organic Letters. 2024, 26, 6491-6496. doi: 10.1021/acs.orglett.4c02295
 Saga, Yutaka; Masaoka, Shigeyuki et al. Electrochemical C(sp³)-H functionalization using acetic acid as a hydrogen atom transfer reagent. ChemElectroChem. 2024, 11, e202400061. doi: 10.1002/celec.202400061
 Saga, Yutaka; Masaoka, Shigeyuki et al. Visible-light-driven hydroacylation of unactivated alkenes using readily available acyl donors. Organic Letters. 2023, 25, 1136-1141. doi: 10.1021/acs.orglett.2c04337

参考URL

http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/masaoka_lab/index.html

キーワード

二酸化炭素挿入、二酸化炭素資源化、光駆動有機合成、電気駆動有機合成、炭化水素変換



効率的な自己修復性と接着特性を備えた動的架橋複合ハイドロゲルセンサーの開発

工学研究科 応用化学専攻

准教授 徐 于懿

 <https://researchmap.jp/yuihsu>



研究の概要

リグニンスルホン酸 (LS) $\cdot\text{Fe}^{3+}$ 、3-アクリルアミドフェニルボロン酸 (APBA) とセルロースナノクリスタル (CNC) の可逆的非共有結合架橋を利用した「ワンポット」法により、多機能ハイドロゲルを開発した。LS- Fe^{3+} 動的触媒システムにより、アクリルアミド (AM)、アクリル酸ナトリウム (AAS)、APBA がアンモニウムパーサルフェート (APS) を開始剤として室温で迅速に共重合できた。水素結合、APBA と CNC 間のボロン酸エステル結合、および Fe^{3+} とポリマー鎖の金属-配位子錯体化の相乗効果により、ハイドロゲルには効率的な自己修復特性が付与されている。また、AAS は物理的な架橋を提供し、優れた強靭性と圧縮特性を示した。さらに、LS によって生成される中間カテコール基は、ハイドロゲルに繰り返し自己接着特性を付与した。

した多機能ハイドロゲルは、スマート高齢者ケアシステム用の多機能ウェアラブルセンサーに組み込むことができ、関節部、または音や咳など弱な生理学的信号を含む人体の動きを正確に感知することを実証しており、感度が高く、効率的に感知できる次世代センサーとして応用できることが期待される。



図1

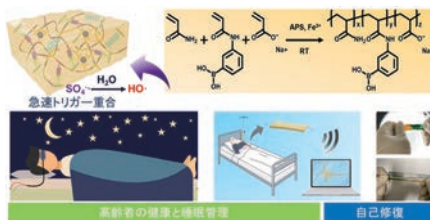


図2

研究の意義と将来展望

多機能導電性ハイドロゲルは、準備プロセスに時間がかかり、エネルギーを大量に消費すること、また自己修復機能が非効率で不安定であるため、実用性が制限されている。本研究で簡便な「ワンポット」法により開発

特 許

論 文

参考URL

キーワード

Wang, Juan; Hsu, Yu-I; Uyama, Hiroshi et al. Rapid preparation of dynamic-crosslinked nanocomposite hydrogel sensors with efficiency self-healing and adhesion properties for elderly health and sleep management. Chemical Engineering Journal. 2024, 480, 148324. doi: 10.1016/j.cej.2023.148324

<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~uyamaken/>

動的架橋ナノ複合材料、ハイドロゲルセンサー、自己修復、接着性

液状化可能なラジカルアニオン凝集体による短波赤外光透過性の制御

基礎工学研究科 物質創成専攻

准教授 鈴木 修一

 Researchmap <https://researchmap.jp/read0210228>



研究の概要

可視光よりも長い波長の短波赤外光（1000-2500 nm）の透過性を制御できる化合物は、光学フィルター、セキュリティインク、断熱フィルター、情報記録材料の材料となる可能性があります。本研究で開発したラジカルアニオン塩は、室温で固体状態では短波赤外光を吸収するのに対し、温度を上げて融解させると、その光を透過することがわかりました。さらに、適度な温度下において、液体状態を針で押すと押した箇所から固体化が進行する現象が観測されました。その結果、短波赤外光が透過状態から非透過状態にスイッチングできることが明らかとなりました。

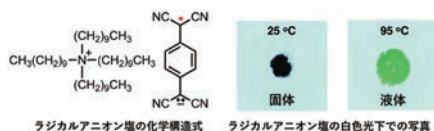


図1

研究の意義と将来展望

短波赤外光を吸収する有機化合物は、一般的に広いπ電子系骨格をもつ分子量の大きい化学種に限られます。さらに、それらの吸収を変調することは非常に困難です。本研究で開発したラジカルアニオン塩は、小さなπ電子系骨格にもかかわらず、集合状態を形成することで短波赤外光の吸収を可能にしています。さらに、液状化が可能であることから、さまざまな物質の表面に「塗る」ことができ、オンデマンドセンサーなどへの応用が期待できます。今回明らかにした材料の設計指針は、多方面の科学技術に貢献すると私たちは考えています。

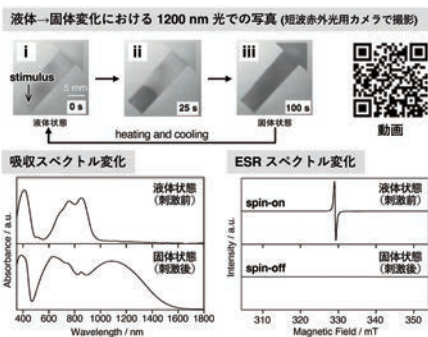


図2

特 許

論 文

参考URL

キーワード

Shu, Ruifeng; Naota, Takeshi; Suzuki, Shuichi. Needlestick-stimulation-induced conversion of short-wave infrared-light transparency using a liqescent radical anion. Small. 2024, 20 (33), 2311557. doi: 10.1002/smll.202311557

<https://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/soc/>

開閉分子、刺激応答性、液状化分子、短波赤外光特性



強誘電的構造相転移を有するトポロジカル半金属における超伝導の発見

基礎工学研究科 物質創成専攻

講師 高橋 英史

Researchmap <https://researchmap.jp-taka>



研究の概要

超伝導体は、医療機器として知られる磁気共鳴イメージング (MRI) や超伝導リニアなどの最先端の産業技術を支える材料の一つです。新しい超伝導体の開発は、このような産業応用だけでなく基礎研究の観点からも重要であり、標準理論であるBCS理論を超える特殊な超伝導状態の探索も進められています。

我々の研究グループは、極性-非極性相転移を持つSrAuBiという化合物が超伝導を示すことを発見しました。従来、空間反転対称性を破る極性構造相転移とは相性が悪いと考えられていましたが、極低温の物性測定や理論計算により、極性構造とトポロジカルなバンド構造に由来した表面状態の存在から、標準理論では説明のつかない特殊な超伝導が実現している可能性が示唆されました。

研究の意義と将来展望

本研究成果は、極性構造相転移が生じるトポロジカル半金属SrAuBiの、超伝導とその特異性を初めて明らかにしました。この系における超伝導は、大きなスピン軌道相互作用を持つピスマスや金の電子状態に起因しており、新しい磁場応答を示す超伝導スピントロニクスとしての可能性を秘めています。さらに極性構造に由来したトポロジカル超伝導の実現と量子コンピュータ素子としての可能性が期待されます。

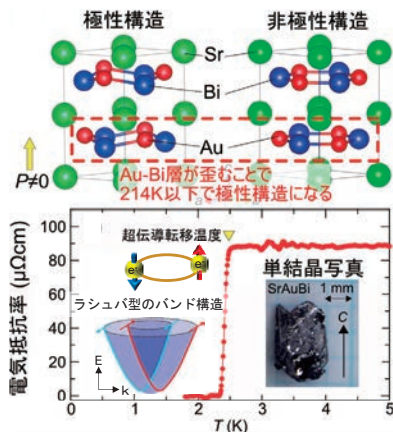


図1 SrAuBiの構造(上)と超伝導転移及び単結晶写真(下)。

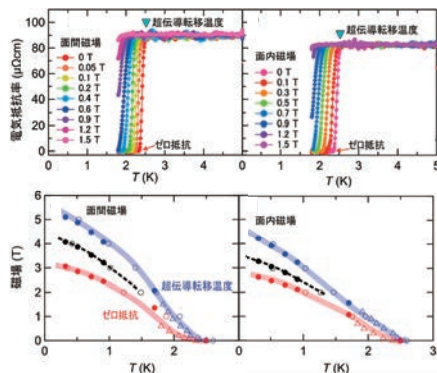


図2 超伝導転移温度の磁場による変化(上)と超伝導転移温度の磁気相図(下)。

特	許
論	文
参考URL	
キーワード	

Takahashi, Hidefumi; Sasaki, Tomohiro et al. Superconductivity in a ferroelectric-like topological semimetal SrAuBi. npj Quantum Materials. 2023, 8, 77.
doi: 10.1038/s41535-023-00612-4

<https://qm.mp.es.osaka-u.ac.jp/>

トポロジカル半金属、超伝導、スピントロニクス



ホウ素の力でイオンを可視化する

工学研究科 応用化学専攻

准教授 **武田 洋平**

 Researchmap <https://researchmap.jp/read0156438>



研究の概要

本研究では、フッ化物イオンなどの陰イオンを長波長側の光で高感度に検出する新たなセンサー分子を開発しました。この分子は三配位有機ホウ素化合物であるフェナザボリンの両極性を活用して、フッ化物イオンを検出すると色や発光色が低エネルギー側に変化する仕組みです。これにより、溶液中の陰イオンの有無を色変化で視覚的に確認できるほか、プラスチックフィルムに組み込むことで青から赤までの発光色調整が可能になりました。従来の陰イオンセンサーは高エネルギー側の波長変化に依存していましたが、本研究では低エネルギー側での検出が可能となりました。さらに、開発したフェナザボリン誘導体分子を有機EL素子の発光材料として用い、フッ化物イオン添加による発光波長の長波長化にも成功しました。この成果は、超高感度な陰イオン検出技術やバイオイメーシング、スマートディスプレイなど幅広い分野での応用が期待され、環境保護、医療、安全分野での実用化にも貢献し得るものです。

研究の意義と将来展望

本研究で開発されたセンサー分子は、長波長側での陰イオン検出を可能にし、技術的な新展開を提供します。陰イオンセンサーとしては、従来の短波長検出を超えて、高感度な検出が長波長側でも実現され、有害物質の早

期発見と健康リスクの低減に寄与することが期待されます。また、固体状態での赤色熱活性化遅延蛍光 (TADF) 特性は、次世代ディスプレイ素材や安全モニタリングデバイスとしても応用が見込まれます。有機EL素子への応用では、デバイス効率や発光色調整が可能となり、さらなる分子設計やデバイス構造の改良を進めることで、新市場の創出や技術革新の基盤となる可能性があります。

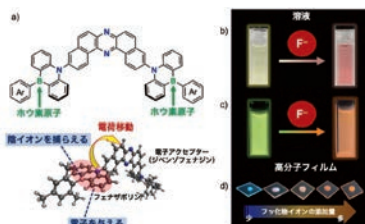


図1. 開発した分子の a) 化学構造、フッ化物イオンを加えた際の b) 溶液の色、c) 発光色変化の様子。フッ化物イオンを加えて作製した d) 高分子フィルムの発光の様子



図2. a) 従来の陰イオンセンサー分子と b) 本研究で開発した陰イオンセンサー分子

特 許

論 文

Aota, Nae; de Silva, Piotr; Takeda, Youhei et al. Anion-responsive colorimetric and fluorometric red-shift in triarylborane derivatives: dual role of phenazaborine as Lewis acid and electron donor. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, 63(24), e202405158. doi: 10.1002/anie.202405158
de Silva, Piotr; Data, Przemyslaw; Takeda, Youhei et al. Thermally activated delayed fluorescence of dibenzophenazine-cored phenazaborines in solid state: anion modulation of photophysics. *J. Phys. Chem. C* 2024, 128 (39), 16805-16812. doi: 10.1021/acs.jpcc.4c05319

参考URL

<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~minakata-lab/ytakeda/>

キーワード

フッ化物イオン、ホウ素、化学センサー、発光、元素戦略



光を当てると発光挙動を変えながら融ける有機結晶の開発

理学研究科 化学専攻

助教 谷 洋介



Researchmap

<https://researchmap.jp/tani-y/>

基礎工学研究科 物質創成専攻

助教 五月女 光



Researchmap

<https://researchmap.jp/hikarusotome/>

研究の概要

光を当てると時々刻々と発光色と強度を変えながら融解する有機結晶を世界で初めて見出した（図1、動画：<https://youtu.be/-ato bxlggBk>）。その発光挙動の変化から、結晶中で分子がどのように動いて融解に至るかを明らかにした。より具体的には、独自に開発したりん光を示す分子の結晶が光照射によって融解する（光融解）ことを見出し、その際の光り方の変化を顕微分光法によって詳細に調べた。この分子のりん光挙動は立体配座によって大きく変わる特徴があり、それを利用して、分子の立体配座が自己触媒的に変化して融解に至るという光融解メカニズムを解明した。

研究の意義と将来展望

固体から液体への相転移（融解）は、材料の物性を顕著に変化させる。一般的に融解は温度上昇（熱）によって起こるが、ごく一部の有機結晶は、光融解することが知られていた。光融解材料は、光の高い空間分解能から、フォトリソグラフィなど微細加工技術への応用が期待されるほか、光エネルギーを融解潜熱として蓄えて利用する光熱変換型エネルギー貯蔵材料としても注目されている。しかし、光融解する有機結晶のほとんどは発光しないアゾベンゼン類であり、詳細な光融解メ

カニズムは未解明であった。本研究成果は光融解する新しい分子骨格を報告するとともにその光融解メカニズムを解明しており、有機結晶の機能および設計を大きく広げるものと期待される。

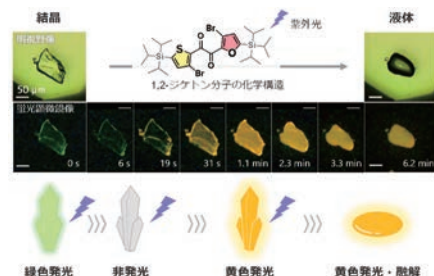


図1 光照射によって有機結晶が融解していく様子

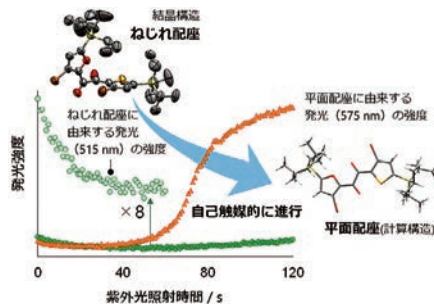


図2 自己触媒的な立体配座の変化

特 許

論 文

Komura, Mao; Sotome, Hikaru; Tani, Yosuke et al. Photoinduced crystal melting with luminescence evolution based on conformational isomerization. Chem. Sci. 2023, 14, 5302-5308. doi: 10.1039/D3SC00838J
Komura, Mao; Ogawa, Takuji; Tani, Yosuke. Room-temperature phosphorescence of a supercooled liquid: kinetic stabilisation by desymmetrisation. Chem. Sci. 2021, 12, 14363-14368. doi: 10.1039/D1SC03800a
Tani, Yosuke; Miyata, Kiyoshi et al. Fast, efficient, narrowband room-temperature phosphorescence from metal-free 1,2-diketones: rational design and the mechanism. Chem. Sci. 2024, 15, 10784-10793. doi: 10.1039/D4SC02841d

参考URL

キーワード

化学、有機結晶、光、刺激応答材料



次世代パワー半導体に向けた高信頼性、材料コスト削減を実現する銀とシリコンを用いた新複合接合材の開発

産業科学研究所 フレキシブル3D 実装協働研究所

特任准教授（常勤）陳 伝彤



<https://researchmap.jp/chenchuantong>

特任教授 菅沼 克昭



<https://researchmap.jp/ksuganuma>



研究の概要

脱炭素化の社会において、EV（電気自動車）の普及に欠かせないのが、「SiC（炭化ケイ素）パワー半導体」である。この半導体により、電力変換ロスを大幅に低減し、機器の小型化や、CO₂排出量削減に大きく貢献することができると、一方で、250℃を超える環境下では、安定的な動作を保证するための耐熱・放熱技術や、厳しい使用環境での接合信頼性を維持する材料の開発が遅れていた。高温動作の課題に対しては銀系ナノ粒子（粒径<100 nm）焼結接合技術の活用が主に検討されているが、それも厳しい熱衝撃試験（-50~250℃）では、銀接合層と半導体デバイス接合界面（境界）に、亀裂の発生および構造破壊の問題があった。今回の新接合材においては、銀とシリコンの接合界面におけるシリコン表面に酸化膜ができることで、低温界面が確実に形成

され、低い熱膨張係数を実現し（Figure 1）、またシリコンの添加量を調整することにより熱膨張係数の制御が可能となった。

研究の意義と将来展望

今回(株)ダイセルが提案した銀とシリコンによる合金焼結素材を高信頼性の要求が高まる次世代パワーデバイスへの社会実装を目指して共同研究を進め、本合金焼結素材をSiCパワー半導体とDBC基板（セラミック基板）の接合部に適用することで、回路基板の熱膨張を低減させ、厳しい使用環境においても亀裂や構造破壊が起こりにくく、優れた接合信頼性が得られることが判明した。さらに、シリコンを加えることで、従来の銀のみの接合材よりも基板製造コストの削減につなげることができる。

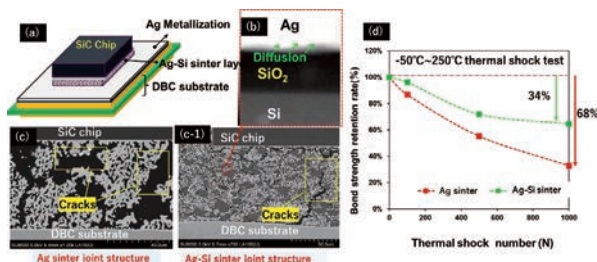


Figure1. (a) The die-attached structure consisting of SiC chip, Ag sinter-based paste and Ag metallized DBC substrate. (b) STEM observation of the interface between Ag and Si. (c) Microstructure in the cross-sections of Ag100% joint structure after thermal cycling test. (c-1) Microstructure in the cross-sections of Ag@Si20% joint structure after thermal cycling test. (d) Shear strength retention rate of Ag sinter joint and Ag@Si20% sinter joint structure during thermal cycling.

特 許 WO/2024/219382、PCT/JP2024/031626

論 文 Liu, Yang; Chen, Chuantong et al. Development of Ag@Si composite sinter joining with ultra-high resistance to thermal shock test for SiC power device: Experiment validation and numerical simulation. Composites Part B: Engineering. 2024, 281, 111519. doi: 10.1016/j.compositesb.2024.111519

参考 URL <https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/achievement/release/240717.html>

キーワード パワーデバイス、銀焼結接合、EV/HEV、宇宙航空、5G/6G 通信



ケミカルリサイクル可能な高性能ポリマーの開発

工学研究科 応用化学専攻

教授 蔦巣 守

<https://researchmap.jp/read0156480>

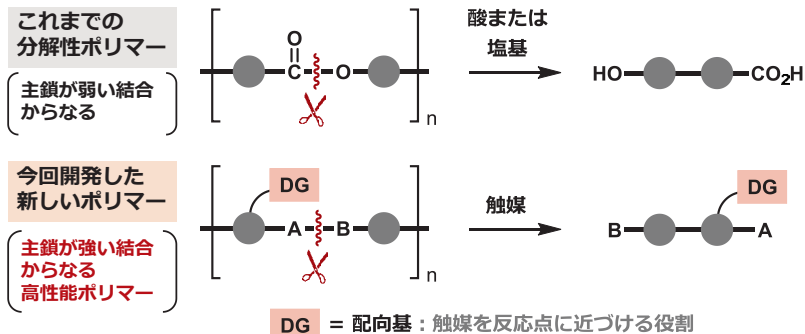
研究の概要

耐熱性、耐薬品性に優れ、かつケミカルリサイクル可能な高性能ポリマーを開発しました。開発したポリマーは触媒を用いることで比較的温和な条件でモノマー単位へと選択的に分解することが可能です。得られたモノマーの再重合により元のポリマーをその性能をそこなうことなく再生することができます。

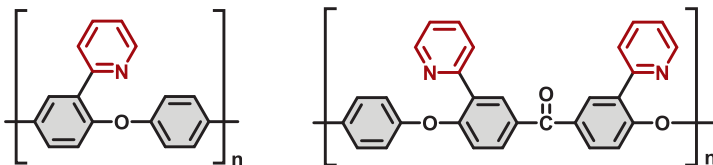
研究の意義と将来展望

これまで耐熱性、耐薬品性に優れた高性能ポリマーは安定で分解できないためケミカルリサイクルが困難でした。本研究により、主鎖に配向基を導入することで触媒を用いて分解可能であることを実証しました。ケミカルリサイクル可能な様々な高性能高分子の分子設計指針を与えるものであり、この設計に基づいた様々な材料開発が期待されます。

ナノテクノロジー・材料



今回合成したケミカルリサイクル可能な高性能ポリマーの具体例：



特 許

論 文

参考URL

キーワード

Ogawa, Satoshi; Uyama, Hiroshi; Tobisu, Mamoru et al. Controlled degradation of chemically stable poly(aryl ethers) *via* directing group-assisted catalysis. Chem. Sci. 2024, 15, 17556-17561. doi: 10.1039/D4SC04147J

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2024/20241007_1

ケミカルリサイクル、高性能ポリマー、触媒

2次元電子ガスによる 熱電性能向上の新方法論

基礎工学研究科 システム創成専攻

教授 中村 芳明

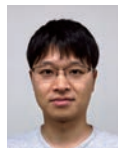


https://researchmap.jp/research_nakamura

助教 石部 貴史



<https://researchmap.jp/t-ishibe>



研究の概要

量子効果の利用は、超高熱電性能を実現する一つの方策として期待されている。例えば、二次元電子ガス(2DEG)を用いることで、ゼーベック係数の増大が生じて熱電出力因子が向上する。本研究では、従来の1つのサブバンドに対して複数のサブバンドを利用した2DEGに注目し、新方法論を提案・実証した。複数のサブバンドを形成可能な三角量子井戸(GaAs/InGaAs)を作製し、高エネルギーの複数の電子伝導パスがゼーベック係数を増大させた。また、三角量子井戸に変調ドープを施すことで、高電子移動度も同時に実現した。この変調ドープした複数サブバンドを有する2DEGは、従来よりも4倍高い出力因子増大率をもたらした。さらに、本三角量子井戸を積層することにより、2DEGデバイスの高出力化に成功した。

研究の意義と将来展望

従来の究極の熱電出力因子向上技術として知られてきた量子効果に対して、増大率をさらに4倍向上させる新しい性能向上の方法論を構築した。これは、劇的な熱電性能向上を導くものとして学術的に高い意義を有する。また、これをデバイス化することにより、IoT センサ等を駆動する電源としての社会応用が期待される。

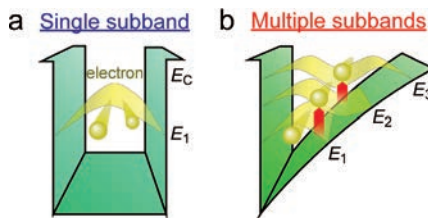


図1 a 単一サブバンドを有する矩形量子井戸の2DEG.
b 複数サブバンドを有する三角量子井戸の2DEG.
サブバンド数の違いを利用して高熱電出力因子化が可能となる。

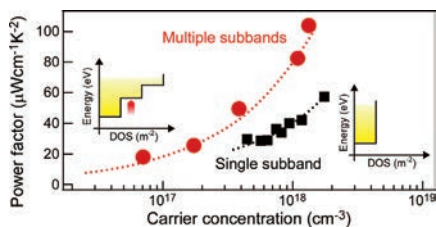


図2 複数及び単一サブバンド2DEGの出力因子のキャリア密度依存性。
複数サブバンドにより熱電出力因子が増大する。

特 許 PCT/JP2025/000606

論 文

Uematsu, Yuto; Ishibe, Takafumi; Mano, Takaaki et al. Anomalous enhancement of thermoelectric power factor in multiple two-dimensional electron gas system. Nature Communications. 2024, 15, 322. doi: 10.1038/s41467-023-44165-3
Uematsu, Yuto; Ishibe, Takafumi; Kozuki, Seiya et al. Film thermoelectric generator of multiple 2-D electron gas. IEEE Transactions on Electron Devices. 2024, 71, 4834. doi: 10.1109/TED.2024.3412863

参考URL <http://www.adv.ee.es.osaka-u.ac.jp/>

キーワード 熱電変換、ナノテクノロジー、二次元電子ガス



有機ハロゲン化合物の効率的合成を可能とする カルボラン触媒の開発

工学研究科 応用化学専攻

准教授 西井 祐二

 Researchmap https://researchmap.jp/y_nishii


研究の概要

有機ハロゲン化合物は、農薬・医薬品・光電子材料など、私達の生活を支える機能性分子の設計と製造に欠かすことの出来ない分子パーツとして幅広く利用されている。従来の有機ハロゲン化合物の製造法（ハロゲン化反応）では、医薬品など「繊細」な分子への適用性が低く、また選択性を制御した「精密」な反応も難しいという課題があった。本研究では、ホウ素クラスター分子の1種であるカルボランの特性に着目し、触媒分子の構造を精密にチューニングすることで、高い活性と選択性を両立した新規ハロゲン化触媒の開発を達成した。

研究の意義と将来展望

上記のとおり有機ハロゲン化合物は、現代の化学産業を支える最も基本的なビルディングブロックであり、その製造法の効率化は重要な課題と位置づけられる。本研究成果をもとに機能性分子の短工程合成が実現できれば、ファインケミカル製品のコストダウンに貢献すると期待できる。また、次世代の素材として近年脚光を浴びているナノカーボン分野においても、従来法では構築の困難であったビルディングブロックの提供を実現し、新たな機能性分子の開拓に向けた強力な合成ツールとして活用が見込まれる。学術的な視点から、カルボランを活用した触媒設計は斬新なアイデアと評価されており、多様な化学プロセスへの応用が期待される。

ナノテクノロジー・材料

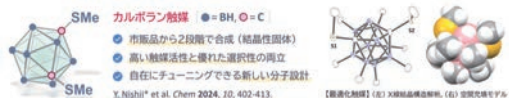


図1

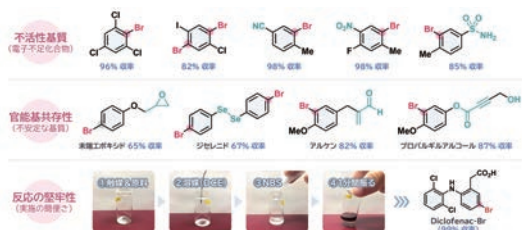


図2

特許	特願2023-081147
論文	Miura, Masahiro; Hirano, Koji; Nishii, Yuji et al. Aromatic halogenation using carbaborane catalyst. Chem. 2024, 10, 402-413. doi: 10.1016/j.chempr.2023.10.006 Nishii, Yuji; Ikeda, Mitsuhiro; Miura, Masahiro et al. Triptycenyli sulfide: a practical and active catalyst for electrophilic aromatic halogenation using <i>N</i> -halosuccinimides. J. Am. Chem. Soc. 2020, 142, 1621-1629. doi: 10.1021/jacs.9b12672
参考URL	https://www-chem.eng.osaka-u.ac.jp/y_nishii/index.html
キーワード	有機化学、ハロゲン、触媒反応、有機触媒、カルボラン

光異性化の際に単結晶性が保持できる 刺激応答性分子ネットワーク結晶の開発

基礎工学研究科 物質創成専攻

教授 久木 一郎

 Researchmap https://researchmap.jp/Ichiro_Hisaki



研究の概要

フォトクロミック分子とは、光反応によって分子構造が変化し、その光学的な性質も変化する光応答性の分子である。本研究ではこのような分子を、水素結合を用いて自己集合させ、光応答性の多孔質材料を開発することを目的とした。具体的には、ジヒドロジメチルベンゾ[e]ピレンをカルボキシル基で化学修飾した誘導体**4BDHP**を用いて分子ネットワーク結晶を作製し、その光応答性を検証した。その結果、**4BDHP**はカルボキシ基同士の水素結合によって網目状に規則的に連結し、内部にチャンネル状の包接空間を有する単結晶を与えることが分かった。この単結晶に可視光を照射したところ、単結晶性をほとんど維持したまま分子の光異性が進行した。

さらに光異性化によりチャンネル空間はより狭いボトルネックをもつ形状へと変化することが分かった。

研究の意義と将来展望

構成分子が光異性化した後でもその結晶の周期性を維持することができる光応答性の多孔質結晶は、光照射という非接触の刺激を用いて、繰り返し結晶空孔から分子を放出したり空孔に分子を取り込んだりできる。このような「開閉自在の分子コンテナ」を創出することができれば、コンテナからの薬剤の放出、あるいは局所的に発生した化学物質のコンテナへの取り込みを、時空間を制御して行える可能性があり、医療や環境の分野での利用が期待できる。

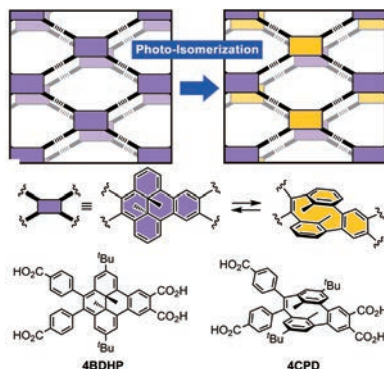


図1

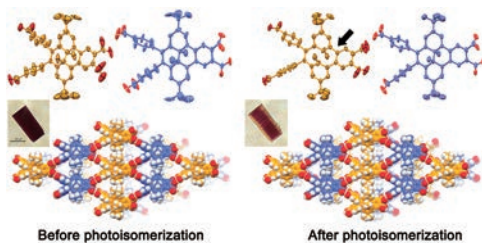


図2

特 許

論 文

Hisaki, Ichiro et al. Photo-responsive hydrogen-bonded molecular networks capable of retaining crystalline periodicity after isomerization. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, 63(24), e202404700. doi: 10.1002/anie.202404700

参考 URL

<https://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/mac/>

キーワード

水素結合、多孔質フレームワーク、光スイッチング、有機結晶



量子コンピュータ

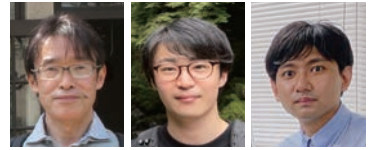
スピン液体における量子テレポーテーション現象を
解明—トポロジカル量子計算の実現へ道

基礎工学研究科 物質創成専攻

教授 藤本 聡

博士後期課程 高橋 雅大

特任助教（現：東京大学特任講師）山田 昌彦

<https://researchmap.jp/satoshifuji-osaka><https://researchmap.jp/mgyamada>

研究の概要

量子スピン液体と呼ばれる特殊な磁性状態に存在するマヨラナ粒子の量子もつれを利用した、量子テレポーテーション現象を理論的に解明しました。マヨラナ粒子とは元々、素粒子分野で提唱された未発見の素粒子で、その反粒子がもとの粒子と同じという性質を持ちます。近年、Kitaev物質と呼ばれる磁性絶縁体のスピン液体状態において、マヨラナ粒子と同じ性質を持つ粒子が現れることが理論的に予言されました。さらにそれが強い量子もつれを持つことから誤り耐性のある量子計算への応用が期待されています。しかしながら、Kitaev物質におけるマヨラナ粒子の強い量子もつれを実験的に検証する方法がこれまで知られていませんでした。本研究では、物質中のマヨラナ粒子の量子もつれを介して、遠く離れた2つの電子スピンの間に情報をやりとりする量子テレポーテーション現象が起こることを解明し、さらにこの現象が電気的に測定可能であることを示しました。

研究の意義と将来展望

本研究では物質中のマヨラナ粒子の量子もつれ状態を観測する方法を明らかにしました。今後、本研究で理論的に提案した電気伝導度

測定を行うことで、候補物質塩化ルテニウム等の特殊な磁性絶縁体中のマヨラナ粒子を検出できると期待されます。また、点欠陥に束縛されたマヨラナ粒子は環境ノイズに対して耐性を持つ量子ビットの構成要素になるため、トポロジカル量子コンピュータの実現に向けて、重要なステップとなります。



図1

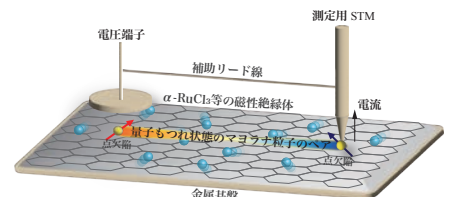


図2

特 許

論 文

Takahashi, Masahiro; Yamada, Masahiko; Fujimoto, Satoshi et al. Nonlocal spin correlation as a signature of Ising anyons trapped in vacancies of the Kitaev spin liquid. Physical Review Letters. 2023, 131, 236701-1-6.
doi: 10.1103/PhysRevLett.131.236701

参考URL

キーワード

量子テレポーテーション、トポロジカル量子コンピュータ、スピン液体、マヨラナ粒子

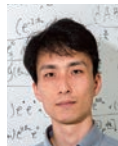
物質シミュレーションのための 量子アルゴリズム開発

基礎工学研究科 システム創成専攻／量子情報・量子生命研究センター

准教授 御手洗 光祐



<https://researchmap.jp/kosuke-mitarai>



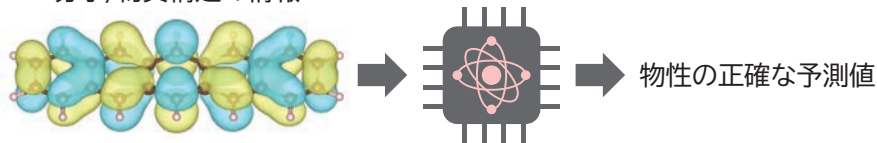
研究の概要

量子コンピュータは、量子論の基礎原理を積極的に計算に活用することで、従来のコンピュータ（古典コンピュータ）では実現できなかった計算を可能にします。量子コンピュータのハードウェア開発は驚くほどの速さで進んでおり、私は、そう遠くない未来に、量子コンピュータがこれまで解かれていなかった問題を解決すると信じています。私の研究テーマは、量子コンピュータの実応用を、ソフトウェア／アルゴリズムの側から加速することです。特に近年は、量子力学を直接扱える量子コンピュータの特性を全面的に利用して、分子、原子、電子などミクロの世界のシミュレーションを量子コンピュータで行うためのアルゴリズム開発に力を入れています。

研究の意義と将来展望

量子コンピュータを使うことで、古典コンピュータではこれまで不可能だった精度で、物質シミュレーションができるようになると信じています。私は、現実には物質を作らなくとも、正確にその性質を予測でき、さらにその性質がなぜ得られるのかを説明し、物質設計に示唆を与えられるような量子アルゴリズムの開発を目指しています。そのようなことが可能になれば、多くの場合実験ベースで物質合成・設計が行われている化学や物理の広い範囲に、大きな影響を与えることは間違いありません。

分子/物質構造の情報



特 許

論 文

Mitarai, Kosuke; Toyozumi, Kiichiro; Mizukami, Wataru. Perturbation theory with quantum signal processing. Quantum. 2023, 7, 1000. doi: 10.22331/q-2023-05-12-1000
Kanno, Keita; Kohda, Masaya; Imai, Ryosuke et al. Quantum-Selected Configuration Interaction: classical diagonalization of Hamiltonians in subspaces selected by quantum computers. arXiv: 2302.11320 (2023). doi: 10.48550/arXiv.2302.11320

参考 URL

<https://mitarai.qc.ee.es.osaka-u.ac.jp/>

キーワード

量子コンピュータ、第一原理計算、量子化学計算、材料設計、量子アルゴリズム



貴金属依存からの脱却 ～ユビキタス金属触媒による物質変換～

基礎工学研究科 物質創成専攻

准教授 満留 敬人

<https://researchmap.jp/read0107411>



研究の概要

持続可能な社会の実現に向け、貴金属や希少金属への依存から脱却し、地球上に豊富に存在する金属を基盤技術とした化学産業へ転換を図る技術革新は、現代社会が直面する最重要課題の一つである。本研究では、その解決策として鉄リン化合物ナノ結晶 ($\text{Fe}_2\text{P NC}$) を基盤に、鉄触媒の低活性や酸化失活という根本的課題を克服することに成功した。 $\text{Fe}_2\text{P NC}$ はニトリルの水素化反応において従来の鉄触媒を大幅に凌駕する高い性能を発揮し、優れた耐久性も実現した。本研究は、非貴金属触媒における活性と安定性の両立を達成し、新たな触媒設計指針を提案するもの

であり、その成果は応用範囲の大幅な拡張を可能にするとともに、持続可能な化学プロセスの基盤構築に大きく貢献する。

研究の意義と将来展望

本研究は、ユビキタス元素である鉄を基盤に、貴金属依存型技術からの脱却を目指したものである。得られた触媒はエネルギー効率やコストの大幅な改善が期待されるだけでなく、環境負荷を低減し、持続可能な社会に向けた次世代触媒の道を拓くものである。今後は、医薬品中間体の合成や環境調和型プロセスへの応用を進め、その実用化をさらに推進する予定である。

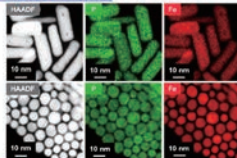
次世代型鉄触媒の開発

背景: 持続可能なものづくりにおいて、資源的優位性、経済性に優れた鉄を基盤とする触媒技術は、その活性と耐久性の課題に応用が著しく限られていた。

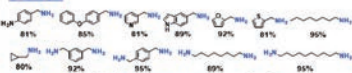
高活性・高耐久性を示す世界初の鉄系固体触媒の開発に成功

科学技術振興機構『顕著な研究成果や実用化、社会的インパクトのある成果』に選定

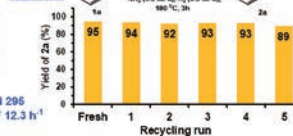
リン化鉄ナノ結晶



汎用性



耐久性



活性



✓世界最高活性(既報の26倍)

国際特許出願WO2023-200015

高活性・高耐久性の鉄触媒の開発のための新しい触媒設計

特 許 WO/2023/200015

論 文 Tsuda, Tomohiro; Mitsudome, Takato et al. Iron phosphide nanocrystals as an air-stable heterogeneous catalyst for liquid-phase nitrile hydrogenation. Nature Communications. 2023, 14, 5959. doi: 10.1038/s41467-023-41627-6

参考URL https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2023/20230928_1

キーワード 触媒、グリーンケミストリー、ナノ粒子、非貴金属

金属3Dプリンターを利用した 自己触媒反応器のカスタム設計

工学研究科 マテリアル生産科学専攻

准教授 森 浩亮

 Researchmap <https://researchmap.jp/7000018582>



研究の概要

高温強度、熱伝導性に優れた金属材料に着目し、金属3D積層造形（3Dプリンティング）技術でチャンネル構造を付与し、触媒機能を示す活性金属をその表面に電気化学的表面処理により露出させることで、触媒機能と反応管としての機能を併せ持った金属製の自己触媒反応器（SCR: Self Catalytic Reactor）を作製した。作製した SCR は、二酸化炭素のメタン化反応において高い活性・選択性を示しただけでなく、長時間での高い耐久性も示す。さらに金属3D積層造形プロセスのスキャンストラテジーにより、結晶方位が変化し、それにより触媒性能が変化することを示した（図1）。

基づく反応流体制御、高い熱伝導性、過酷な環境下における高い安定性などの特徴を有することから、既存触媒プロセスの高効率化、省エネ化、低コスト化を可能にする。さらに、金属3D積層造形プロセスによる多結晶から単結晶へのマイクロオーダーでの結晶方位・組織制御を駆使することで、触媒性能のカスタム制御の可能性を示しており、カーボンニュートラルを指向した触媒分野のみならず、金属3D積層造形技術を基盤とした先進的なマテリアルサイエンス分野へも多大な波及効果をもたらすことが期待される（図2）。

研究の意義と将来展望

金属3D積層造形技術を利用した触媒開発研究は黎明期であるが、優れた設計柔軟性に

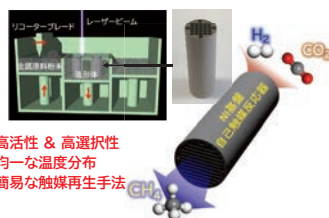


図1



図2

特 許	特願2024-190103
論 文	Kim, Hyojin; Mori, Kohsuke; Nakano, Takayoshi et al. Robust self-catalytic reactor for CO ₂ methanation fabricated by metal 3D printing and selective electrochemical dissolution. Advanced Functional Materials. 2023, 33, 2303994. doi: 10.1002/adfm.202303994
参考 URL	https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2023/20230623_1
キーワード	金属3D プリンター、自己触媒反応管、二酸化炭素、メタネーション



結晶化溶媒を変えるだけで低・高誘電性の両方を示す有機分子結晶の開発

工学研究科 応用化学専攻

准教授 焼山 佑美

Researchmap <https://researchmap.jp/yumiyakiyama>

研究の概要

我々は、固体中で「お椀型」に由来した特徴的な一次元カラム構造の形成および面内振動運動を示し、さらに溶液中で「お椀反転運動」とよばれる挙動を示す曲面分子フルオロスマネンを基盤に、結晶化溶媒を変えるだけという極めて簡便な手法で、単一分子のみで最大 10^4 オーダーに至る誘電率変調を示す材料の創製に成功した。量子化学計算および分子動力学シミュレーションの結果、この現象は溶液中におけるターゲット分子が示すお椀反転に基づく平衡挙動と結晶核形成が、結晶化溶媒との溶媒和により影響を受けることで生じるものであることが明らかとなった。

研究の意義と将来展望

10^4 オーダーに至る誘電率の実現は純有機物材料では珍しく、加えて結晶化溶媒を変えるだけで単一分子のみから低誘電性・高誘電性の両方の発現を達成出来る点で、フルオロスマネン類は省エネルギー誘電性有機結晶材料として、高いポテンシャルを秘めているといえる。また、フルオロスマネン類は極性結晶を与えるという特徴も有しており、今回見いだされた特異な誘電特性と組み合わせることで多機能材料としての展開も可能になると期待できる。

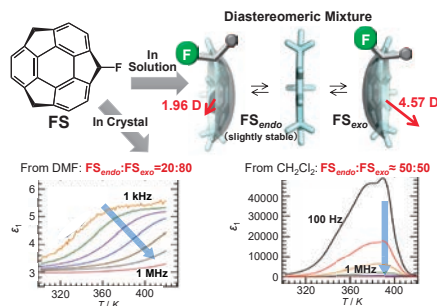
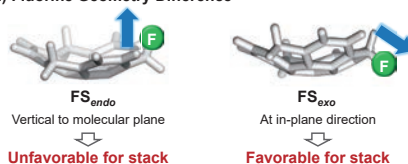


図1

a) Fluorine Geometry Difference



b) Difference in Solvation Effect

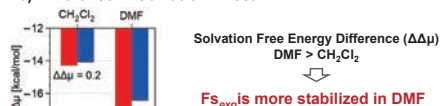


図2

特許

論文

Yakiyama, Yumi; Sakurai, Hidehiro et al. Biased bowl-direction of monofluorosumanene in the solid state. J. Am. Chem. Soc. 2024, 146 (8), 5224-5231. doi: 10.1021/jacs.3c11311
Yakiyama, Yumi; Sakurai, Hidehiro et al. Tuning the dielectric response by co-crystallisation of sumanene and its fluorinated derivative. Chem. Commun. 2022, 58 (64), 8950-8953. doi: 10.1039/D2CC02766F
Yakiyama, Yumi; Sakurai, Hidehiro et al. Dielectric response of 1,1-difluorosumanene caused by an in-plane motion. Mater. Chem. Front. 2022, 6 (13), 1752-1758. doi: 10.1039/D2QM00134A

参考URL

<https://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~sakurai-lab/>
<https://sites.google.com/view/yumi-yakiyama/>

キーワード

有機結晶化学、曲面 π 共役系、誘電応答性、フッ素・ボウル反転

高性能半導体材料への世界最高効率・ 低消費電力室温スピンの注入

基礎工学研究科 附属スピントロニクス学術連携研究教育センター

准教授 山田 晋也



<https://researchmap.jp/shinyayamada>



研究の概要

窒化ガリウム (GaN) は、青色発光ダイオードなどの発光デバイスや、パワーデバイスなどの電子デバイスの半導体材料としての研究開発が盛んに進められているが、電子のスピン自由度を積極的に活用するスピントロニクス分野においても期待され始めている。本研究では、高性能スピントロニクス材料（ホイスラー合金磁石）/GaN 直接接合が実現する低抵抗電極構造を用いた低消費電力・高効率スピン注入技術を開発した。

合金磁石を利用することで、従来よりも3~4倍以上高いスピン注入効率を実現した。今後、電池レベルの低電圧で駆動するスピンレーザーの開発などにつながる事が期待される。

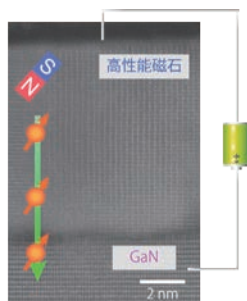
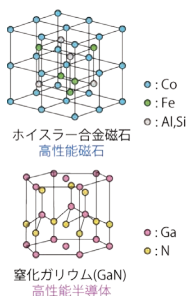


図1

研究の意義と将来展望

2017年に電流注入方式のGaN系スピンレーザーの室温実証が報告されているが、絶縁体トンネルバリア層を用いた高抵抗のスピン注入電極構造を用いているため、レーザー発振のために大電圧を印加する必要があるという課題があった。また、スピン注入源として用いた磁石のスピントロニクス材料としての性能が低いという課題があった。本研究では、高性能スピントロニクス材料とGaNの間に絶縁体トンネルバリアを挿入していない低抵抗のスピン注入電極構造を用いているため、従来よりも3桁以上低い接合抵抗値を実現し、低消費電力でのスピン注入を実現した。また、スピン注入源として高性能ホイスラー

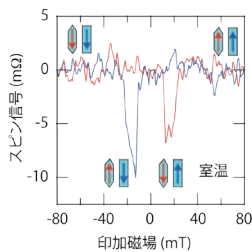
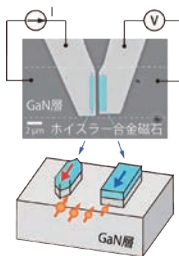


図2

特 許

論 文

Yamada, Shinya; Ichikawa, Shuhei; Hamaya, Kohei et al. Half-metallic Heusler alloy/GaN heterostructure for semiconductor spintronics devices. *Advanced Electronic Materials*. 2023. 9(7), 2300045. doi: 10.1002/aeml.202300045

参考URL

<http://www.semi.ee.es.osaka-u.ac.jp/hamayalab/index.html>

キーワード

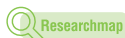
スピントロニクス、窒化ガリウム、ホイスラー合金、スピン発光デバイス



無色透明な近赤外応答型有機半導体材料の創製

産業科学研究所 ソフトナノマテリアル研究分野

助教 横山 創一

https://researchmap.jp/Soichi_Yokoyama

教授 家 裕隆

<https://researchmap.jp/read0105668>

研究の概要

近赤外光選択的な吸収を示す無色透明な有機分子の開発は、近赤外光のイメージングや無色透明な太陽電池材料といったデバイス材料応用が期待される。一方、無色透明な分子の開発例は限られており、分子設計指針も明確ではないという課題がある。本研究では、分子軌道の対称性に着目した分子設計指針を提案することで、近赤外光選択的な吸収特性を示す無色透明な有機分子を開発に取り組んだ。電子遷移の選択則で知られる Laporte 則に基づいて、近赤外領域の電子遷移のみを許容になるビルディングユニットを選定し、これを組み込んだ新規分子 FNTz-Py を開発した。FNTz-Py は近赤外領域に吸収を示す無色透明な溶液・薄膜になり、近赤外光に対しても選択的な応答を示すデバイス応用が可能になることを見出した。

研究の意義と将来展望

今回開発した近赤外光を選択的に吸収することが可能な有機半導体材料は、近赤外光センシングだけでなく、光学フィルタや熱遮蔽フィルムや太陽光エネルギー変換材料への応用も期待できる。特に、近赤外光は太陽光エネルギーの約3割程度占めているが、シリコン型太陽電池やペロブスカイト太陽電池では

ほとんど利活用されていない。そのため、今回提唱した「近赤外光選択型有機半導体材料の分子設計指針」を活用することで、近赤外光を電気エネルギーに変換可能な無色透明有機太陽電池の開発も可能になると期待している。

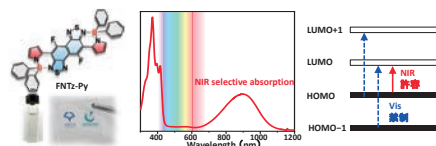
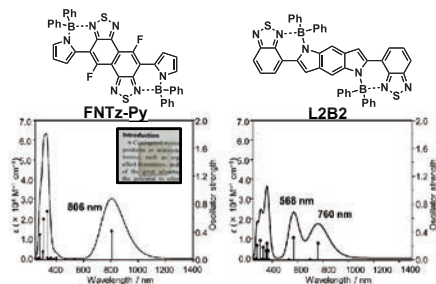


図1



		FNTz-Py	L2B2
励起状態	軌道遷移	遷移選択率	遷移選択率
S ₁	HOMO→LUMO	u→g ○ 許容	g→u ○ 許容
S ₂	HOMO→LUMO+1	u→u × 禁制	g→g × 禁制
S ₃	HOMO-1→LUMO	g→g × 禁制	g→u ○ 許容

図2

特 許 PCT/JP2025/005511

論 文

Yokoyama, Soichi; Ie, Yutaka. Fluorinated dihydropentalene-1,4-dione: a strong electron-accepting unit with organic semiconductor characteristics. Chem. Eur. J. 2023, 29, e202203873. doi: 10.1002/chem.202203873
Yokoyama, Soichi; Ie, Yutaka et al. Colorless near-infrared absorbing dyes based on B-N fused donor-acceptor-donor π -conjugated molecules for organic phototransistors. Adv. Sci. 2024, 11, 2405656. doi: 10.1002/advs.202405656

参考URL <https://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/omm/>

キーワード 近赤外色素、有機半導体、有機機能性材料



原子間力顕微鏡による単一原子触媒反応： 酸化チタン表面上の金原子による CO 酸化反応

工学研究科 物理学系専攻

准教授 李 艶君

<https://researchmap.jp/liyanjun50379137>



研究の概要

金属酸化物表面での一酸化炭素酸化の単一原子触媒作用は、温室効果ガスのリサイクルにとって極めて重要である。しかし、その原子スケールでのメカニズムはまだ解明されていない。本研究では、原子間力顕微鏡 (AFM)・ケルビンプロープ力顕微鏡 (KPFM) を利用して、酸化されたルチル型酸化チタン (TiO_2) 表面に金単原子 (Au) を正負両方向に帯電させることで、一酸化炭素 (CO) の酸化反応が著しく促進されることを示す。中性の金原子には一酸化炭素の吸着は見られない。更に、吸着した金単原子の酸化還元状態、一酸化炭素吸着形状、および AFM 探針による一酸化炭素吸着 / 脱着を完全に制御できる。帯電した金単原子上で、一酸化炭素と隣接する酸素原子との間の Eley-Rideal 酸化反応が、原子間力顕微鏡の探針によって活性化される。本研究成果は、電子または正孔の吸着後の一酸化炭素酸化における金の二重活性が、光触媒反応においても重要な要素であることを示唆している。

研究の意義と将来展望

金属酸化物表面上の貴金属原子による酸化反応を原子分解能で観測することができるため、本技術を採用すれば、新しいナノ触媒材料のための設計・評価が格段に高度化する。

このため本技術は今後、画期的な光触媒材料や太陽電池材料を実現するための新しい基盤技術になると期待される。

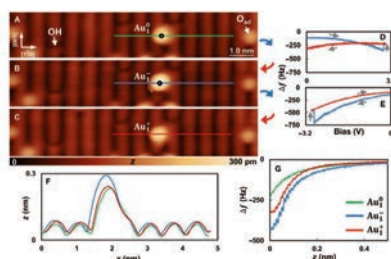


図1 酸化ルチル TiO_2 (110) 表面上の単一 Au 原子の電荷操作。(A-C) Au_{10} 、 Au_{1-} と Au_{1+} の AFM 像。(D-E) 周波数シフトの電圧依存性。(F) Au_{10} 、 Au_{1-} と Au_{1+} の高さ。(G) Au_{10} 、 Au_{1-} と Au_{1+} の周波数シフトの探針試料距離依存性。

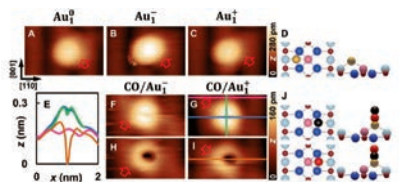


図2 (A-C) Au_{10} 、 Au_{1-} と Au_{1+} の AFM 像。(F-I) CO 吸着した Au_{1-} と Au_{1+} の AFM 像 (F と G: ピン形、H と I: ドーナツ形)。(D と J) Au_{10} 吸着した Au_{10} 上に CO 吸着した TiO_2 (110) 表面のモデル。(E) ピン形 (緑と青の線) とドーナツ形 (オレンジの線) の CO 吸着した Au_{1+} の高さ。

特許

論文

Adachi, Yuuki; Stich, Ivan; Li, Yanjun et al. Tip-activated single-atom catalysis: CO oxidation on Au adatom on oxidized rutile TiO_2 surface. Science Advances. 2023, 9(39), eadi4799. doi:10.1126/sciadv.adi4799
Adachi, Yuuki; Stichs, Ivan, Li, Yanjun et al. Mechanocatalysis of CO to CO_2 on TiO_2 surface controlled at atomic scale. Nano Research. 2024, 17, 5826-5834. doi:10.1007/s12274-024-6539-z
Adachi, Yuuki; Sugawara, Yasuhiro; Li, Yanjun. Probing CO on a rutile TiO_2 (110) surface using atomic force microscopy and Kelvin probe force microscopy. Nano research. 2022, 15(3), 1909-1915. doi: 10.1007/s12274-021-3809-x

参考URL

<http://nanophysics.ap.eng.osaka-u.ac.jp/liyanjun/>

キーワード

原子間力顕微鏡 (AFM)、ケルビンプロープ力顕微鏡 (KPFM)、酸化チタン (TiO_2)、単一金原子 (Au_1)、単一原子触媒 (SAC)、CO 酸化反応



ナノダイヤモンドを成長核とした 長尺配向カーボンナノチューブの合成

工学研究科 物理学系専攻

博士後期課程 劉 元嘉

助教 井ノ上 泰輝



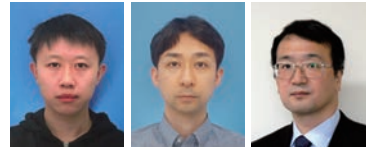
Researchmap

https://researchmap.jp/inoue_t

教授 小林 慶裕



Researchmap

https://researchmap.jp/koba_ap_eng_ou

研究の概要

本研究では、ナノダイヤモンドを成長核として、長尺かつ配向したカーボンナノチューブ（CNT）を合成する手法を開発した。シリコン基板上にナノダイヤモンド粒子をパターン担持し、化学気相成長における成長温度と原料ガス流量を制御することで、CNTがガス流に沿って長尺成長することを見出した。2次電子収量のマッピングおよび原子間力顕微鏡による分析を併用することで、不純物金属粒子とナノダイヤモンド粒子を区別し、CNTがナノダイヤモンド粒子から成長していることを示した。

研究の意義と将来展望

カーボンナノチューブ（CNT）を高性能電子デバイスなどへ応用するには、長尺かつ配向したCNTを基板上に形成することが必要となる。これまで、化学気相成長においてガス流を活用したCNTの長尺配向成長技術は知られていたが、その成長核は金属粒子を用いたものであった。このような金属粒子は不純物として残存することが問題となっていた。本成果で実現した金属不純物フリーな長尺配向CNTは、次世代の電子デバイス応用につながることを期待される。



図1 ナノダイヤモンドから成長した配向CNTの電子顕微鏡像。

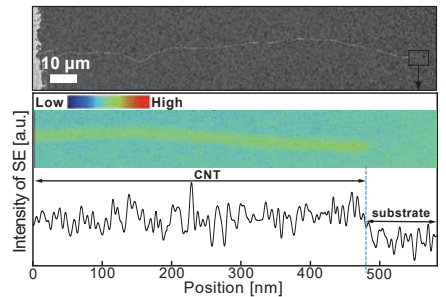


図2 ナノダイヤモンドから成長した配向CNTの走査型電子顕微鏡像および2次電子収量像。

特 許

論 文

Liu, Yuanjia; Inoue, Taiki; Wang, Mengyue et al. Gas flow-directed growth of aligned carbon nanotubes from nonmetallic seeds. Carbon. 2023, 214, 118309.
doi: 10.1016/j.carbon.2023.118309

参考URL

<http://www.ap.eng.osaka-u.ac.jp/nanomaterial/index.html>

キーワード

ナノカーボン材料、カーボンナノチューブ、化学気相成長

ナノ空間を利用した新物質の 開発と大容量二次電池への応用

産業科学研究所 ナノ構造・機能評価研究分野

助教 Liu, Qiunan  <https://researchmap.jp/Qiunan-Liu>教授 末永 和知  <https://researchmap.jp/read0120473>

研究の概要

高性能電子顕微鏡により、2層グラフェンの層間におけるアルカリ金属のが2層構造であることを発見しました。これはn型のドーパントであるアルカリ金属が、多層のグラファイトの場合に比べて倍の密度で充填されることを示します。またp型であるモリブデン塩化物の様々な形態での充填構造も明らかになりました。これらの電気自動車や通信機器に向けた2層～少数層グラフェン電極による大容量二次電池の開発への期待が高まりました。

研究の意義と将来展望

二次電池の性能は、電気自動車の走行距離やスマートフォンの使用時間などに影響を与える主要な指標の一つです。二次電池が、より大きな電気容量を蓄積できるようになれば、これらの電子デバイスの性能を向上させることができます。電池の電極材料である黒鉛（グラファイト）は、グラフェンが層状に重なり、層間に配置されたアルカリ金属が電子を受け渡すことで、充電・放電を行います。もし、グラフェン層間に高密度でアルカリ金属を充填できれば、電気容量が向上するでしょう。

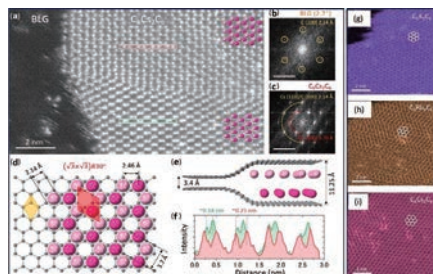


図1 アルカリ金属は、2層グラフェンに挿入される際に六方最密充填の2重層を形成します (a～c)。(e)～(i)はそれぞれカリウム、ルビジウム、セシウムを挿入した2層グラフェンのSTEM画像。(d)と(e)はグラフェン層間への2層アルカリ金属挿入の原子配列。(d)と(e)はそれぞれ上面と側面。

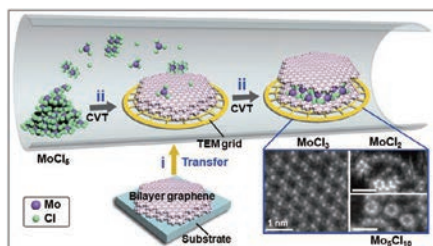


図2 P型ドーパントである塩化モリブデンのグラフェン層間への挿入実験の様子。層間では多相の塩化モリブデンが観察される。

特許

論文

Liu, Qiunan; Lin, Yung-Chang; Suenaga, Kazu et al. Molybdenum chloride nanostructures with giant lattice distortions intercalated into bilayer graphene. ACS Nano. 2023, 17(23), 23659-23670. doi: 10.1021/acsnano.3c06958
Lin, Yung-Chang; Liu, Qiunan; Suenaga, Kazu et al. Alkali metal bilayer intercalation in graphene. Nature Communications. 2024, 15, 425. doi:10.1038/s41467-023-44602-3

参考URL

キーワード エネルギー材料、グラファイトインターカレーション、低次元物質、高分解能電子顕微鏡