



**中温域で  $10^{-2}$  S/cm を大きく超える酸化物超イオン伝導体 a 軸配向 SDC 薄膜を開発**  
 ~中温動作型固体酸化物燃料電池の電解質膜応用に大きく前進~

水素と酸素の電気化学反応を利用して発電する固体酸化物形燃料電池 (SOFC) は、新たな発電システムとして期待されている。既存の SOFC は 700 °C 以上と動作温度が高く、低コスト化やその用途拡大のために、300~550 °C の中温域で  $10^{-2}$  S/cm 以上の高いイオン伝導度 (超イオン伝導性) を示す固体電解質材料の開発が求められているが、現状、実用可能な材料は見出されていない。本研究グループは、SOFC の固体電解質材料として Sm-doped  $\text{CeO}_2(\text{Ce}_{0.75}\text{Sm}_{0.25}\text{O}_{2-x}$ : SDC) を選択し、RF マグネトロンスパッタリング法を用いて、(100) 配向イットリア安定化ジルコニア (YSZ) 単結

晶基板上に、厚さ約 20 nm の a 軸配向 SDC 薄膜 (SDC/YSZ) を作製し、酸素空孔率・イオン輸率・電子構造・イオン伝導度を評価した。

各種分析の結果、SDC/YSZ 薄膜は 300 °C で約 0.05 kΩ cm という極めて低いバルク抵抗を示した。また、中温域において  $10^{-2}$  S/cm 超の高い酸化物イオン伝導率を示し、イオン輸率 0.96 を達成した。この優れた性能は、(1)b-c 面に形成された大量の酸素空孔 ( $\delta=0.17$ ) による効率的なイオン輸送、(2)約 2.6 eV のエネルギーギャップによる電子伝導の抑制、(3)Ce 4f 電子間の強いクーロン反発、という 3 つの要因に起因することも解明した。これらの成果は、安価で化学的安定性に優れた a 軸配向 SDC/YSZ 薄膜が中温域で動作する SOFC および全固体電気二重層トランジスタ用の実用的な酸化物超イオン伝導体の電解質材料として高いポテンシャルを持つことを示している。

(掲載誌: Journal of the Physical Society of Japan, DOI: 10.7566/JPSJ.95.014706)

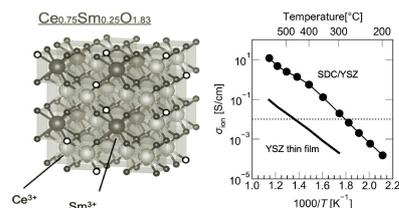


図1 本研究で明らかにした a 軸配向 SDC 薄膜の結晶構造とイオン伝導度

[著者連絡先等]

〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1  
 東京理科大学先進工学部物理工学科 教授  
 樋口透  
 E-mail: higuchi@rs.tus.ac.jp

[2026年1月27日]

**多様な元素置換が可能な三角格子量子磁性体を開発**  
 ~5d 元素を含む複合アニオン化合物の新展開~

量子磁性体とは、電子スピンの強い量子効果の影響を受けて、従来の磁性体では見られない特異な量子状態を示す磁性体である。量子磁性体の開発は、量子多体系の基礎物理の深化に加え、量子機能物性や量子情報分野への応用可能性の観点からも重要な研究課題となっている。

その中でも「異方的三角格子反強磁性体」は興味深い研究対象である。図に示すように、二等辺三角形上の短辺方向と長辺方向で強さの異なる反強磁性相互作用が働く。長辺方向の相互作用が弱い場合には、二次元格子でありながら鎖方向の性質が顕在化する「磁性の一次元化」が低温で現れ、一次元量子スピン系に特有の磁気励起が期待される。しかし、このような性質を示す異方的三角格子のモデル物質は限られており、実験的研究のための物質基盤は十分に整っていないかった。

本研究では、非磁性鉭物ピナライト ( $\text{Pb}_3\text{WO}_9\text{Cl}_2$ ) に着目し、W (タングステン) 元素が形成する二等辺三角形ネットワークを磁性体へと拡張することを試みた。具体的には、W を磁性元素 Re (レニウム) に置換するとともに、A サイト (Ca, Sr, Ba, Pb) およびハロゲンサイト (Cl, Br) を制御することで、全 7 種類の新物質の合成に成功した。本物質群は、磁性を担う元素が 5d 遷移金属である点、ならびに配位子が 2 種類のアニオンから構成される複合アニオン化合物である点において、物質設計上の特徴を有している。さらに、詳細な物性測定の結果から、本物質群が従来物質を凌駕する多様な異方的三角格子反強磁性体の磁気モデルを実現することが示され、磁性を自在に制御するための新たな物質開発指針を提供する成果であることが明らかになった。

本成果は、2025年11月26日に Nature Communications 誌に掲載された (M. Gen *et al.*, Nat. Commun. 16, 9938 (2025), DOI: 10.1038/s41467-025-65913-7)。

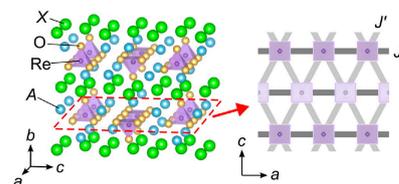


図 本研究で開発した新物質  $\text{A}_3\text{ReO}_5\text{X}_2$  (A=Ca, Sr, Ba, Pb; X=Cl, Br) の結晶構造 (左) と、Re 原子が形成する異方的三角格子 (右)。

[著者連絡先等]

〒277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5  
 東京大学物性研究所 助教 厳正輝  
 Email: gen@issp.u-tokyo.ac.jp  
 〒464-8603 名古屋市千種区不老町  
 名古屋大学大学院工学研究科 准教授  
 平井大悟郎

Email: hirai.daigorou.x5@f.mail.nagoya-u.ac.jp  
 [2026年1月27日]

**サブナノ厚みを自在に操る: 二次元シリカの新合成戦略 新規特性も発現、水分解触媒などの材料設計指針に**

近年、二次元ナノ材料は、次世代の電子デバイスおよびエネルギー変換技術を切り拓く基盤材料として、世界的に注目を集めている。わずか数原子層の厚みを持つ 2D 材料では、厚さに応じて電子構造や化学的性質が大きく変化し、サブナノメートル単位の厚み制御は材料設計上の重要課題である。これまで、グラフェンに代表される層状化合物由来のナノシートでは層数に基づく厚み制御が可能であったが、シリカのような非層状化合物では、規定された層構造を持たないため、厚みを揃えたナノシートの合成は困難であった。その結果、非層状化合物において厚みを自在に制御した自立ナノシートの実現は、限られた組成にとどまっていた。

名古屋大学の山本助教、長田教授らは、固相界面活性剤を鋳型とするアモルファスシリカナノシート合成法により、ナノシート厚みを分子レベルで制御できることを見出した。固相界面

活性剤は、界面活性剤分子が規則的に集積した層状化合物であり、その分子層間空間を二次元材料の鋳型として利用できる。本研究では、ポリエチレンオキシド (PEO) 鎖を有する界面活性剤を用いることで、アモルファスシリカナノシートを合成し、PEO 鎖長の制御により、厚さ 0.9, 1.5, 2.0, 2.5 nm のナノシートを得ることに成功した。これらのナノシートは厚みの均一性が極めて高く、標準偏差は約 0.1 ナノメートルであった (図 1 左)。

さらに、得られたナノシートは溶液中で安定に分散し、面積かつ均一な二次元稠密集積膜を形成できる。この集積膜により、さまざまな基板上にアモルファスシリカ膜を転写でき、厚みに依存した化学的・物理的性質の系統的評価が可能となった。特に、バイポーラ膜触媒として適用したところ、 $\text{H}_2\text{O}$  を  $\text{H}^+$  および  $\text{OH}^-$  に解離する水分解反応において、ナノシートが十分に薄い場合にのみ高い触媒活性を示すことを見出した (図 1 右)。これは、従来ほとんど触媒能を示さないと考えられてきたアモルファスシリカが、分子レベルの薄膜化により新たな機

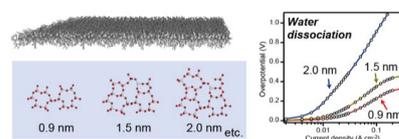


図1 (左) 厚み制御したアモルファスシリカナノシートと (右) 水分解反応における過電圧の厚み変化

能を獲得することを示すものであり、今後のバイポーラ膜触媒設計において重要な知見である。本成果は「ACS Nano」誌に掲載された (ACS Nano 2025, 19, 46, 39936-39945)。

[著者連絡先等]

〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町  
 名古屋大学 未来材料・システム研究所 助教  
 山本瑛祐  
 Email: e-yamamoto@imass.nagoya-u.ac.jp

[2026年1月30日]

## 近赤外光を活用可能なアップコンバージョンペロブスカイト太陽電池の開発

太陽光には可視光だけでなく多くの近赤外光が含まれているが、従来の鉛系ペロブスカイト太陽電池は、材料のバンドギャップの制約により近赤外光を十分に利用できないという課題があった。本研究では、色素増感型希土類アップコンバージョンナノ粒子を用いることで、近赤外光を可視光へ変換し、ペロブスカイト太陽電池で利用可能とする新しい光利用技術を開発した。

本研究では、近赤外吸収能の高い有機色素インドシアニングリーン (ICG) を希土類ドープナノ粒子表面に固定化し、さらに無機ペロブスカイト (CsPbBr<sub>3</sub>) シェルで被覆した複合ナノ粒子を設計した (図1)。この構造により、ICGで吸収された近赤外光エネルギーがNd<sup>3+</sup>、Yb<sup>3+</sup>、Er<sup>3+</sup>へと段階的に移動し、可視光として放出されるアップコンバージョン発光が高効率に誘起される。さらに、CsPbBr<sub>3</sub> シェルは粒子表面欠陥を抑制するとともに、ペロブスカイト

薄膜との親和性を高める役割を果たす。その結果、ナノ粒子をCsPbI<sub>3</sub>ペロブスカイト層中に均一に分散させることが可能となり、結晶性や膜品質を損なうことなくデバイスへ組み込むことに成功した。

作製した太陽電池では、従来構造と比較して短絡電流密度が16.4 mA cm<sup>-2</sup>から18.4 mA cm<sup>-2</sup>へ向上し、近赤外光を利用した発電が実証された。また、分光感度測定により、近赤外領域における光電変換応答の拡張も確認された。本技術は、ペロブスカイト材料本来の光吸収・光電変換特性は維持したまま、ナノ材料とのハイブリッド化によって光利用波長域を拡張できる点に特徴がある。今後は、大面積化や耐久性評価を進めることで、次世代高効率太陽電池への応用展開が期待される。本研究の成果は、*Advanced. Opt. Mater.* 誌に掲載された。(DOI: 10.1002/adom.202501682)

[著者連絡先等]

早稲田大学先進理工学部化学・生命化学科  
准教授 石井あゆみ

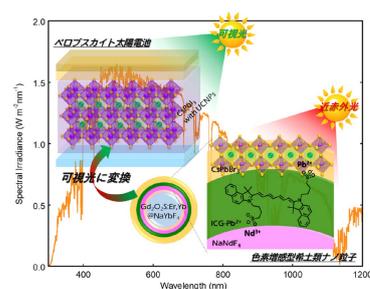


図1 色素増感型アップコンバージョンナノ粒子とペロブスカイト太陽電池のハイブリッド化による太陽光広帯域利用

E-mail : ayumii@waseda.jp

HP : <http://www.chem.waseda.ac.jp/ishii/>

[2026年1月31日]

## ◇新刊紹介◇

石原 顕光, 松田 厚範, 稲田 亮史, 中嶋 直敏 著

### 「次世代電池をつくるための化学入門

### デザイン・合成・性能評価法論

化学同人, B5判, 224pp.

定価: 6,600円 (本体6,000円+税) 2025年12月発行

ISBN978-4-7598-2567-1

2019年のノーベル化学賞の受賞内容となったリチウムイオン電池は、現代社会に欠かせない材料となって久しい。本書では、基礎的な前提知識である電池の平衡論と速度論について、豊富な図示で平易に解説し、その歴史と将来展望を取り上げている。とりわけ、直感的に把握しにくい電池内部における化学反応や物理現象について、本質を的確に捉えた概念図と、丁寧な数式展開・導出を併せて示している点が、本書の大きな特長である。

言及するまでもなく、自動車産業をはじめとする我が国産業界において、貴金属フリー材料の開発は喫緊の課題である。その達成に向けては、貴金属を用いた電池および非貴金属系電池の発見・開発の歴史を踏まえ、それぞれの利点と課題を的確に理解することが、研究現場において強く求められている。

一般に、電池内部で複雑に進行する化学反応を直接観測・解析することは容易ではないが、本書では電池内反応の観測手法にも言及し、精緻な実験的観測と計算科学との連携によって触媒反応サイクルの機構を提案する具体例を紹介することで、計

算科学の重要性についても論じている。

さらに本書は、燃料電池やリチウムイオン電池にとどまらず、一次電池・二次電池・触媒など、実用化されている多様な物質・材料を幅広く取り上げている。そのため、電池分野の初学者はもとより、セラミックスの表面・界面における化学反応の研究に携わる研究者にとっても、電池および触媒に関する理解を一層深化させる契機を与える一冊である。

本書の構成は以下のとおりである。

- 第1章 電池とはー電気化学システムの特徴と電池の平衡論
- 第2章 電池の速度論
- 第3章 これまでの電池とこれからの電池
- 第4章 貴金属ならびに非貴金属系電池の触媒材料 (素材)
- 第5章 白金を用いた燃料電池ー現状と将来
- 第6章 白金を用いない燃料電池触媒ー現状と将来
- 第7章 充放電が可能な空気ー亜鉛二次電池の性能評価
- 第8章 その場 (in-situ) / オペランド (operando) 電気化学測定法
- 第9章 リチウムイオン電池の基礎ー現状と将来
- 第10章 リチウムイオン電池の研究展開ー従来型および固体型

(編集委員 望月 泰英)