

令和 4 年 9 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H06153

研究課題名(和文)電子化物のコンセプトと応用の新展開

研究課題名(英文)New evolution of materials concept and application of electrides

研究代表者

細野 秀雄(Hosono, Hideo)

東京工業大学・元素戦略研究センター・特命教授

研究者番号：30157028

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 139,600,000円

研究成果の概要(和文)：電子化物(エレクトライド)の物質コンセプトの拡張と新物性の探索、ならびにそれを利用した応用への展開を行った。これまでバルクの電子不足型イオン結晶を母体とする物質に限定されていた電子化物のコンセプトを、表面、中性・電子過剰型、金属間化合物に拡張することに成功した。新物性では1次元電子化物がMott型の絶縁体であること、2次元電子化物がトポロジカル物質のプラットフォームになること、希土類炭化物電子化物でアニオン電子の媒介による強磁性、水中でも安定な電子化物などを発見した。応用では、アモルファス電子化物薄膜が低仕事関数で高い透明性を有し有機ELの電子注入層材料として優れていることなどを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会的意義として最も重要な成果は、温和な条件下でアンモニア合成を可能とする触媒として、これまで必須とされていたルテニウムを使わずに、ニッケルと表面電子化物を組み合わせやCoの金属間化合物の電子化物で、それに匹敵する活性を実現したことである。この成果は水素社会実現のためのキー物質となりつつある、アンモニアのハーバー・ボッシュ法に代わる新合成プロセスの開発に繋がると期待される。上述の研究成果は、Chemical Reviewに65ページの招待総説として2021年に発表した。

研究成果の概要(英文)：We have extended the material concept of electrides (electrides), explored new properties, and applied them to new applications. The concept of electrides, which had been limited to materials based on bulk electron-deficient ionic crystals, was successfully extended to surfaces, neutral and electron-rich types, and intermetallic compounds. In terms of new properties, we discovered that 1D electrides are Mott-type insulators, 2D electrides can be a platform for topological materials, ferromagnetism mediated by anion electrons in rare-earth carbide electrides, and electrides that are stable even in water. In the application, we found that amorphous electride thin films are excellent as electron injection layer materials for OLEDs due to their low work function and high transparency, and that cobalt-based intermetallic compound electrides and surface electrides, nickel-supported cerium nitrides, show high activity as ammonia synthesis catalysts without ruthenium.

研究分野：無機機能材料、無機固体化学、固体電子物性、電子材料、触媒

キーワード：電子化物 エレクトライド 材料設計 半導体 触媒 新物質 新材料

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

イオン結晶はカチオンとアニオンから構成されている。電子化物は電子がアニオンとして働く新概念の物質として大学レベルの無機化学の教科書に記載されている。しかしながら、あまりに熱的、化学的に不安定なため物性が不明であった。室温・大気中で安定な電子化物は、2003年に本研究者らが $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 結晶(C12A7)を母物質として初めて実現した (Science) [1]。これによって物性研究が初めて可能となった。それ以降、層間にアニオン電子が閉じ込められた2次元電子化物 (Nature 2013) [2]やチャンネル内に束縛された1次元物質 (JACS 2014) [3]を報告したが、いずれも母物質は、電子過剰型の無機イオン結晶のバルクに限定されていた。また、物性は低仕事関数であること、応用としてはこれを利用した電子放出源や Ru を担持することで温和な条件下でアンモニアの合成触媒になりうることの最初の報告 (Nat. Chem. 2012) [4]を発表していた。これらの一連の成果が契機となって、研究が世界的に立ち上がりつつある状況であった。

2. 研究の目的

電子化物のコンセプトをバルクのイオン結晶以外の物質系への拡張と新物性・新機能の探索、そしてそれらを利用した応用展開を図ることを目的とする。以下に具体的研究項目を示す。

「物質探査・物性解明」

新バルク電子化物

バルク無機イオン結晶では、化学式から電子化物の候補物質になりうるかどうかは電子不足型かどうかで容易に分かる。しかし、金属間化合物では原子価が自明ではないため、電子化物の物質探査が全く進んでいない。

表面電子化物

高濃度の水素欠損が生じやすい金属水素化物の表面で、C12A7 電子化物 (C12A7:e) と類似の電子状態が実現することが DFT 計算から示唆された。表面電子化物は、触媒など化学反応への応用に適しているため、実験と計算でその探索を進める。

アモルファス電子化物

アモルファス C12A7:e の新しいアモルファス半導体としての特徴と物性を明らかにする。

「応用」

電子が特定の原子の軌道に属さないという電子化物の特徴に起因した物性を利用した応用を検討する。具体的には以下の2項目を取り上げる。

電子デバイス

アモルファス C12A7:e の薄膜試料の仕事関数は 3.0eV であり、金属のリチウムやカルシウムに匹敵する。室温製膜可、低仕事関数、透明、化学的に安定という特徴をフルに活かして、且つ産業的に重要な課題となっている応用として、有機 EL 素子の電極から有機発光層への電子注入を促進する電子注入層 (EIL) としての検討を進める。EIL には低い仕事関数と化学的安定性が要求される。

化学反応への応用

低仕事関数であることを利用し、アンモニア合成や有機分子の選択水素化、クロスカップリング反応など電子供与がキーとなりそうな化学反応の触媒として検討する。

「普遍的学理」

電子化物に共通な性質やそれを俯瞰できる指標を検討する

3. 研究の方法

[研究方法]

新物質探索に関しては、これまで見出してきた電子化物から抽出した必須と思われる要素を条件にして、結晶構造データベースと DFT 計算から候補物質を選び出すアプローチと、化学式を与えると最も安定な結晶構造を予測する手法を併用する。これらによって選ばれた候補物質に対して実際に合成を行い、その妥当性を検討する。計算で電子化物になっているかどうかの判定は、バンド計算で格子間位置や非占有サイトでの局在電子密度の大きさを使う。また、その妥当性の実験的検証は、試料を水素雰囲気中で加熱したときに、アニオン電子は水素と反応し、ヒドリドイオンとして結晶格子中に取り込まれるので、結果としてフェルミレベル近傍からアニオン電子のバンドが消失するはずなので、これで確認する。

電子化物はアニオン電子が空格子サイトに存在するので、そのバンドは半分だけ電子が占有されるケースが多い。よって、電子間の相関の大きさが系によって大きく異なることが予想される。

そこで電子相関の大きさを検討することで、電子化物の統一的な理解を試みる

4. 研究成果

「物質探索・物性解明」

バルク電子化物

Zintl 相に類似した金属間化合物 **LaTMSi** (**TM**: 遷移金属) を対象に、空格子点の高い電子密度をもつ物質をバンド計算と実験で探索した。その結果、**TM = Co, Ru** の場合に電子化物になっていることが明らかになった[5,6] (論文番号 **14,16,28** など)。同様に **AeAlSi** (**Ae:Ca,Sr,Ba**) でも見いだされた[7]

化学式からは単なる絶縁性のイオン性結晶と判断される **Na₃N** (逆 **ReO₃** 型結晶構造) が、金属伝導性を示すことを見出し、空格子点の高い電子密度をもつ電子化物であることを突き止めた。これは初めての中性電子化物となった[8]。

計算で新電子化物を予測し、実験でそれを検証するというアプローチで、多くの成果が得られた。例えば **Sr_mP_n** では **m=4, n=3** など幾つかの存在が知られていたが、この計算で最も安定な結晶相は **m=5, n=3** であると予測された。この相は未報告であったので、実際に合成を試みたところ、この化合物が安定に得られ、結晶構造も予測と一致した。そしてこの結晶が一次元チャンネル中にアニオン電子が存在する電子化物であることが分かった[9]。

表面電子化物

バルクでは電子化物は知られていないが、高濃度のアニオン欠損が表面で生成しやすい物質系に着目して探索した。ハロゲンイオンと比べ、アニオン欠損の生成エネルギーが小さい水素化物に注目した。触媒への展開では遷移金属ナノ粒子を担持するので、その状態の表面が電子化物になるかどうかが重要になる。そこで、まず **CaH₂** を対象に表面電子化物の生成しやすさを、いろいろな表面に対して計算で検討したところ、予測通り高濃度の水素欠損が生じ、低仕事関数の電子が生成することが分かった。この傾向は **Ru** や **Co** を担持させると水素欠損の形成エネルギーがさらに減少することを見出した[10]。このような遷移金属の担持による表面電子化物の形成は、金属アミドや希土類窒化物でも確認された。

アモルファス電子化物

C12A7 電子化物をスパッターリングすることで、電子濃度を殆ど保持したままアモルファス薄膜が形成できることを見出した。その仕事関数は結晶の **2.4eV** よりもやや増加するものの (**3.0eV**)、金属カルシウムと同程度と低く、しかも安定で薄膜状態では透明という特徴を有することを見出した[11]。

「応用」

電子化物ではアニオン電子が原子核を持たないので、イオン化しやすい(仕事関数が小さい)という共通の性質をもつことを明らかにしてきた。これを利用する以下の応用を検討した。

電子デバイス

C12A7:e結晶が優れた電子放出源であり、水素雰囲気下では負水素イオン源となることが見出された[12]。負水素イオン源は核融合分野で基幹技術の一つであるが、これまで金属セシウムが唯一の材料であり、その化学的・熱的不安定さに悩まされており、新しい材料が求められていた。この成果は、国際会議 (NIBS-18, フランス) でハイライト講演に選ばれ、2019年に *Rev. Mod. Plasma Phys.* で1節を使って紹介されるなど大きな反響があった。また、スパッター法でアモルファスエレクトライド **a-C12A7:e** が得られた。その仕事関数は **3eV** で金属カルシウムに匹敵し、しかも透明で化学的に安定なことから、有機EL (OLED) の電子輸送層 (EIL) への応用を検討した。OLEDでは駆動用の薄膜トランジスタがp型ポリシリコンからn型IGZOへの転換が生じ (Hosono, *Nat. Elect.* 2018)、これまでの積層とは逆構造 (カソードが上部) で発光効率の高い素子が要求される。**A-C12A7:e** 薄膜をEILに用いて逆構造のOLEDを作製したところ、順構造と同等、ないしはやや高い発光効率が得られた[13]。

化学反応への応用

低仕事関数であることを利用し、電子供与の効果が期待できる重要な化学反応として、温和な条件下でのアンモニア合成の触媒を検討し[14]。これまでの研究で、**Ru** ナノ粒子を担持すると高い活性が得られることが分かっていた。そこで、希少金属である **Ru** 触媒を使わないで高い活性を有する電子化物の実現にフォーカスした。その結果、**LaCoSi** という金属間化合物の電子化

物[15]と Ni 担持 CeN という表面電子化物[16]で、この目標が達成できた。特に後者では、アンモニア合成触媒の指導原理として確立されている、遷移金属への N₂の化学吸着エネルギーと触媒活性の間に成立する火山型プロットでは、活性が低いと予測され、かつ、既報でもそれが裏付けられてきた Ni でも、Ru に匹敵する活性が得られることを初めて示した。これは火山型プロットの前提となっている N₂の活性化が遷移金属上で生じるのではなく、LaN や CeN 表面に高濃度に生成する窒素欠損サイトで生じるためである。すなわち、遷移金属の役割は解離の容易な H₂の活性化だけなので、これまで不活性であった Ni が触媒として有効に機能するようになった。

また、金属間化合物の電子化物は、分極した金属結合と低仕事関数のアニオン電子の両方の性質を生かせるので、これに適した以下の反応の触媒として検討した。まず、C-C 結合に生成を行う Suzuki coupling に、新しく見出した電子化物 Y₃Pd₂ が、有効な触媒になることを見出した[17]。従来の触媒は均一系なので、生成物と触媒の分離が必要だったが、不均一触媒で有効なものが見出されたので、この問題が解決された。もう一つはオレフィンとニトロ基の両方を含む分子で後者のみを選択的に水素還元できることを見出した(論文番号 26)。

[普遍的学理]

電子化物に共通な性質やそれを俯瞰できる指標を検討した結果、以下の成果が得られた。

1 次元電子化物：Mott 絶縁体

アニオン電子が結晶構造中のチャンネル中に存在する一次元電子化物 Sr₅P₃ は、バンド計算ではアニオン電子のバンドがフェルミ面を過るので、金属になると予想されたが、実験からはバンドギャップが開いていた。また、磁気測定からアニオン電子当たりの磁気モーメントは ~1 μ B と見積もられることから、アニオン電子は局在性が高いことが分かった。以上のことから 1 次元電子化物は Mott 絶縁体になると結論した[14,17]。

2 次元電子化物：層間電子の実証とトポロジカル物質のプラットホーム

層間にアニオンとして電子が存在するのが、2 次元電子化物である。2013 年に Ca₂N がこれに相当することを初めて報告した。それに続き Y₂C や Gd₂C など一連の物質が、この範疇の属することを計算で示したが、層間電子の存在を実験的に証明することはできていなかった。これは電子の存在は原子のように回折法を使って位置決定が困難なためで、これまで報告されたものの電子化物でも、アニオン電子の位置は計算でのみ示されてきた。ここでは、Y₂C の単結晶を合成しこれを使って、放射光を光源とする角度分解光電子分光でアニオン電子のバンドを直接に実測し、その結果を計算したバンド構造と比較したところ、矛盾がなかった。よって、層間にアニオン電子が存在することを初めて実証できた[19]。

2 次元電子化物ではアニオン電子が層間に浮いている状態なので、トポロジカル絶縁体の表面状態に類似している(総説 2)。また、層間に大きく広がった s 電子は、層を構成する原子の軌道と混成しやすいので、バンド反転が生じやすい。このような観点から、2D 電子化物はトポロジカル物質になりやすいと発想し、計算によってこれを裏付けた[20]。2 次元電子化物のトポロジカル物質は、スピン軌道相互作用によってバンド反転を起こしていないので、重金属を必要としないという特徴をもつ。

電子化物の電子相関の強さと次元性

アニオン電子が制限された空間に閉じ込められるので、電子間反発の大きさが物質によってかなり異なると考えられる。そこでランダム位相近似を用いて、電子間反発の大きさ U と移動積分 t を計算し、電子相関の尺度である U/t をいろいろな電子化物について求めた。その結果、電子相関の大きさは、0 < 1 < 2 ~ 3 次元電子化物という関係が得られた。0 次元物質では U/t が 10 を超え 3d 遷移金属系と同程度になり、強相関系と見做されることができることが分かった[21]。実際、0 次元電子化物 C12A7:e では超伝導が見出されている。

(引用文献)

- S.Matsuishi, Y.Toda, M.Miyakawa, K.Hayashi, T.Kamiya, M.Hirano, H. Hosono, High-Density Electron Anions in a Nanoporous Single Crystal:[Ca₂₄Al₂₈O₆₄]⁴⁺(4e⁻). *Science*, 301(5633), 626-629(2003).
- K.Lee, S.W. Kim, Y. Toda, S.Matsuishi, H.Hosono, Dicalcium nitride as a two-dimensional electride with an anionic electron layer. *Nature*, 494(7437), 336-340(2013).
- Y.Lu, J.Li, T.Tada, T. Toda, S. Ueda, T.Yokoyama, M.Kitano & H.Hosono. Water durable electride Y₅Si₃: electronic structure and catalytic activity for ammonia synthesis. *Journal of the American Chemical Society*, 138(12), 3970-3973 (2016)..

M.Kitano, Y.Inoue, Y.Yamazaki, F.Hayashi, S.Kanbara, S. Matsuishi, M.Hara &H. Hosono
 Ammonia synthesis using a stable electrider as an electron donor and reversible hydrogen
 store. *Nature chemistry*, 4(11), 934-940(2012).

Hiroshi Mizoguchi,Sang-Won Park, Kazuhisa Kishida, Masaaki Kitano, Junghwan Kim,
 Masato Sasase, Takashi Honda, Kazutaka Ikeda, Toshiya Otomo, and Hideo Hosono: Zeolitic
 Intermetallics: LnNiSi (Ln = La-Nd); *J. Am. Chem. Soc.*, 141, 3376-3379, (2019).

Hu Tang, Biao Wan, Bo Gao, Yoshinori Muraba, Qin Qin, Bingmin Yan, Peng Chen,
 Qingyang Hu, Dongzhou Zhang, Lailei Wu, Mingzhi Wang, Hong Xiao, Huiyang Gou,
 Faming Gao, Ho-kwang Mao, and Hideo Hosono: Metal-to-Semiconductor Transition and
 Electronic Dimensionality Reduction of Ca₂N Electrider under Pressure;*Adv. Sci.*,5,1800666-1-
 6,(2018).

Yangfan Lu, Tomofumi Tada, Yoshitake Toda, Shigenori Ueda, Jiazhen Wu, Jiang Li, Koji
 Horiba, Hiroshi Kumigashira, Yaoqing Zhang, and Hideo Hosono: Interlayer states arising
 from anionic electrons in the honeycomb-lattice-based compounds AeAlSi (Ae = Ca, Sr, Ba);
Phys. Rev. B, 95, 125117, (2017).

Hiroshi Mizoguchi, Sang-Won Park, Takayoshi Katase, Grigori V. Vazhenin, Junghwan Kim,
 and Hideo Hosono: Origin of metallic nature of Na₃N; *J. Am. Chem. Soc.*, 143, 69-72, (2021).

Junjie Wang, Kota Hanzawa, Hidenori Hiramatsu, Junghwan Kim, Naoto Umezawa, Koki
 Iwanaka,Tomofumi Tada, and Hideo Hosono: Exploration of Stable Strontium Phosphide-
 Based Electrideres: Theoretical Structure Prediction and Experimental Validation; *J. Am. Chem.
 Soc.*, 139, 15668-15680, (2017).

Takuya Nakao, Tomofumi Tada, and Hideo Hosono: First-Principles and Microkinetic Study
 on the Mechanism for Ammonia Synthesis Using Ru-Loaded Hydride Catalyst; *J. Phys. Chem.
 C*, 124, 2070-2078, (2020).

Hideo Hosono, Junghwan Kim, Yoshitake Toda, Toshio Kamiya, and Satoru Watanabe:
 Transparent amorphous oxide semiconductors for organic electronics: Application to inverted
 OLEDs; *Proc.Natl. Acad. Sci. USA*, 114(2), 233-238, (2017).

Mamiko Sasao, Roba Moussaoui, Dmitry Kogut, James Ellis, Gilles Cartry, Motoi
 Wada,Katsuyoshi, Tsumori and Hideo Hosono: Negative-hydrogen-ion production from a
 nanoporous 12CaO · 7Al₂O₃ electrider surface; *Appl.Phys.Exp.*, 11, 066201, (2018).

Puong-Vu Ong, Hideo Hosono, and Peter V. Sushko: Structure and Electronic Properties of
 [Ca₂₄Al₂₈O₆₄]⁴⁺·4e⁻ Surfaces: Opportunities for Termination-Controlled Electron Transfer; *J.
 Phys. Chem. C*, 123, 6030–6036, (2019).

Hideo Hosono, Masaaki Kitano: *Advances in Materials and Applications of Inorganic
 Electrideres*; *Chem. Rev.*, 121, 3121–3185, (2021)

Yutong Gong, Jiazhen Wu, Masaaki Kitano, Junjie Wang, Tian-Nan Ye, Jiang Li, Yasukazu
 Kobayashi, Kazuhisa Kishida, Hitoshi Abe, Yasuhiro Niwa, Hongsheng Yang, Tomofumi
 Tada, and Hideo Hosono: Ternary intermetallic LaCoSi as a catalyst for N₂ activation; *Nat.
 Catal.*, 1, 178-185, (2018).

Tian-Nan Ye, Sang-Won Park, Yangfan Lu, Jiang Li, Masato Sasase, Masaaki Kitano,
 Tomofumi Tada, and Hideo Hosono: Vacancy-enabled N₂ activation for ammonia synthesis on
 an Ni-loaded catalyst; *Nature*, 583, 391-395, (2020).

Hideo Hosono, Masaaki Kitano: *Advances in Materials and Applications of Inorganic
 Electrideres*; *Chem. Rev.*, 121, 3121–3185, (2021)

Junjie Wang, Kota Hanzawa, Hidenori Hiramatsu, Junghwan Kim, Naoto Umezawa, Koki
 Iwanaka,Tomofumi Tada, and Hideo Hosono: Exploration of Stable Strontium Phosphide-
 Based Electrideres: Theoretical Structure Prediction and Experimental Validation; *J. Am. Chem.
 Soc.*, 139, 15668-15680, (2017).

Koji Horiba, Ryu Yukawa, Taichi Mitsuhashi, Miho Kitamura, Takeshi Inoshita, Noriaki
 Hamada,Shigeki Otani, Naoki Ohashi, Sachiko Maki, Jun-ichi Yamaura, Hideo Hosono,
 Youichi Murakami,and Hiroshi Kumigashira: Semimetallic bands derived from interlayer
 electrons in the quasi-two-dimensional electrider Y₂C; *Phys.Rev.B*,96,045101-0451015,(2017)

Masatoshi Hiraishi, Kenji M. Kojima, Ishihiro Yamauchi, Hirotaka Okabe, Soshi Takeshita,
 Akihiro Koda, Ryosuke Kadono, Xiao Zhang, Satoru Matsuishi, Hideo Hosono, Kazuto Hirata,
 Shigeki Otani, and Naoki Ohashi: Electronic correlation in the quasi-two-dimensional electrider
 Y₂C; *Phys. Rev. B*, 98, 041104(R)-1-5, (2018).

⑳ Shu Kanno, Tomofumi Tada, Takeru Utsumi, Kazuma Nakamura, and Hideo Hosono:Electronic
 correlation strength of inorganic electrideres from first principles; *J. Phys. Chem. Lett.*, 12,
 12020-12025, (2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 33件/うち国際共著 22件/うちオープンアクセス 33件）

1. 著者名 Gong Yutong, Li Hongchen, Li Can, Yang Xueqing, Wang Junjie, Hosono Hideo	4. 巻 34
2. 論文標題 LaRuSi Electride Disrupts the Scaling Relations for Ammonia Synthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1677 ~ 1685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.1c03821	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Hosono Hideo	4. 巻 152
2. 論文標題 Electron Transfer from Support/Promotor to Metal Catalyst: Requirements for Effective Support	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysis Letters	6. 最初と最後の頁 307 ~ 314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10562-021-03648-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Inoshita Takeshi, Saito Susumu, Hosono Hideo	4. 巻 1
2. 論文標題 Floating Interlayer and Surface Electrons in 2D Materials: Graphite, Electrides, and Electrenes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Small Science	6. 最初と最後の頁 2100020 ~ 2100020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smsc.202100020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kanno Shu, Tada Tomofumi, Utsumi Takeru, Nakamura Kazuma, Hosono Hideo	4. 巻 12
2. 論文標題 Electronic Correlation Strength of Inorganic Electrides from First Principles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 12020 ~ 12025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcclett.1c03637	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiraishi M., Kojima K. M., Okabe H., Koda A., Kadono R., Wu J., Lu Y., Hosono H.	4. 巻 103
2. 論文標題 Anomalous diamagnetism of electrider electrons in transition metal silicides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L241101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L241101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li Kun, Gong Yutong, Wang Junjie, Hosono Hideo	4. 巻 143
2. 論文標題 Electron-Deficient-Type Electride Ca ₅ Pb ₃ : Extension of Electride Chemical Space	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 8821 ~ 8828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c03278	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hosono Hideo, Kitano Masaaki	4. 巻 121
2. 論文標題 Advances in Materials and Applications of Inorganic Electrides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Reviews	6. 最初と最後の頁 3121 ~ 3185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.0c01071	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mizoguchi Hiroshi, Park Sang-Won, Katase Takayoshi, Vazhenin Grigori V., Kim Junghwan, Hosono Hideo	4. 巻 143
2. 論文標題 Origin of Metallic Nature of Na ₃ N	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 69 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c11047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ye Tian-Nan, Park Sang-Won, Lu Yangfan, Li Jiang, Sasase Masato, Kitano Masaaki, Hosono Hideo	4. 巻 142
2. 論文標題 Contribution of Nitrogen Vacancies to Ammonia Synthesis over Metal Nitride Catalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 14374 ~ 14383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c06624	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ye Tian-Nan, Park Sang-Won, Lu Yangfan, Li Jiang, Sasase Masato, Kitano Masaaki, Tada Tomofumi, Hosono Hideo	4. 巻 583
2. 論文標題 Vacancy-enabled N ₂ activation for ammonia synthesis on an Ni-loaded catalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 391 ~ 395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-020-2464-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Qin Qin, Wan Biao, Yan Bingmin, Gao Bo, Hu Qingyang, Zhang Dongzhou, Hosono Hideo, Gou Huiyang	4. 巻 124
2. 論文標題 Potential Interaction of Noble Gas Atoms and Anionic Electrons in Ca ₂ N	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 12213 ~ 12219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c01543	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nakao Takuya, Tada Tomofumi, Hosono Hideo	4. 巻 124
2. 論文標題 First-Principles and Microkinetic Study on the Mechanism for Ammonia Synthesis Using Ru-Loaded Hydride Catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2070 ~ 2078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b10850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ye Tian-Nan, Lu Yangfan, Xiao Zewen, Li Jiang, Nakao Takuya, Abe Hitoshi, Niwa Yasuhiro, Kitano Masaaki, Tada Tomofumi, Hosono Hideo	4. 巻 10
2. 論文標題 Palladium-bearing intermetallic electride as an efficient and stable catalyst for Suzuki cross-coupling reactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-13679-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li Jiang, Wu Jiazhen, Wang Haiyun, Lu Yangfan, Ye Tiannan, Sasase Masato, Wu Xiaojun, Kitano Masaaki, Inoshita Takeshi, Hosono Hideo	4. 巻 10
2. 論文標題 Acid-durable electride with layered ruthenium for ammonia synthesis: boosting the activity via selective etching	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 5712 ~ 5718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SC01539F	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ong Phuong-Vu, Hosono Hideo, Sushko Peter V.	4. 巻 123
2. 論文標題 Structure and Electronic Properties of [Ca ₂₄ Al ₂₈ O ₆₄] ⁴⁺ · 4e ⁻ Surfaces: Opportunities for Termination-Controlled Electron Transfer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 6030 ~ 6036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b11866	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Mizoguchi Hiroshi, Park Sang-Won, Kishida Kazuhisa, Kitano Masaaki, Kim Junghwan, Sasase Masato, Honda Takashi, Ikeda Kazutaka, Otomo Toshiya, Hosono Hideo	4. 巻 141
2. 論文標題 Zeolitic Intermetallics: LnNiSi (Ln = La-Nd)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 3376 ~ 3379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b12784	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wang Junjie, Zhu Qiang, Wang Zhenhai, Hosono Hideo	4. 巻 99
2. 論文標題 Ternary inorganic electrides with mixed bonding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 064104-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.064104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wu Jiazhen, Li Jiang, Gong Yutong, Kitano Masaaki, Inoshita Takeshi, Hosono Hideo	4. 巻 58
2. 論文標題 Intermetallic Electride Catalyst as a Platform for Ammonia Synthesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 825 ~ 829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201812131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wan Biao, Lu Yangfan, Xiao Zewen, Muraba Yoshinori, Kim Junghwan, Huang Dajian, Wu Lailei, Gou Huiyang, Zhang Jingwu, Gao Faming, Mao Ho-kwang, Hosono Hideo	4. 巻 4
2. 論文標題 Identifying quasi-2D and 1D electrides in yttrium and scandium chlorides via geometrical identification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 npj Computational Materials	6. 最初と最後の頁 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41524-018-0136-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tang Hu, Wan Biao, Gao Bo, Muraba Yoshinori, Qin Qin, Yan Bingmin, Chen Peng, Hu Qingyang, Zhang Dongzhou, Wu Lailei, Wang Mingzhi, Xiao Hong, Gou Huiyang, Gao Faming, Mao Ho kwang, Hosono Hideo	4. 巻 5
2. 論文標題 Metal-to-Semiconductor Transition and Electronic Dimensionality Reduction of Ca ₂ N Electride under Pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Science	6. 最初と最後の頁 1800666 ~ 1800666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.201800666	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Lu Yangfan, Wang Junjie, Li Jiang, Wu Jiazhen, Kanno Shu, Tada Tomofumi, Hosono Hideo	4. 巻 98
2. 論文標題 Realization of Mott-insulating electrides in dimorphic Y b 5 S b 3	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125128-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.125128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hiraishi M., Kojima K. M., Yamauchi I., Okabe H., Takeshita S., Koda A., Kadono R., Zhang X., Matsuishi S., Hosono H., Hirata K., Otani S., Ohashi N.	4. 巻 98
2. 論文標題 Electronic correlation in the quasi-two-dimensional electride Y 2 C	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 041104(R)-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.041104	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirayama Motoaki, Matsuishi Satoru, Hosono Hideo, Murakami Shuichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Electrides as a New Platform of Topological Materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review X	6. 最初と最後の頁 031067-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevX.8.031067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sasao Mamiko, Moussaoui Roba, Kogut Dmitry, Ellis James, Cartry Gilles, Wada Motoi, Tsumori Katsuyoshi, Hosono Hideo	4. 巻 11
2. 論文標題 Negative-hydrogen-ion production from a nanoporous 12Ca0・7Al2O3 electride surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 066201 ~ 066201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.066201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Gong Yutong, Wu Jiazhen, Kitano Masaaki, Wang Junjie, Ye Tian-Nan, Li Jiang, Kobayashi Yasukazu, Kishida Kazuhisa, Abe Hitoshi, Niwa Yasuhiro, Yang Hongsheng, Tada Tomofumi, Hosono Hideo	4. 巻 1
2. 論文標題 Ternary intermetallic LaCoSi as a catalyst for N ₂ activation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Catalysis	6. 最初と最後の頁 178 ~ 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41929-017-0022-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Inoshita Takeshi, Tsukada Masaru, Saito Susumu, Hosono Hideo	4. 巻 96
2. 論文標題 Probing a divergent van Hove singularity of graphene with a Ca 2 N support: A layered electrified as a solid-state dopant	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245303-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.245303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toda Yoshitake, Ishiyama Shintaro, Khutoryan Eduard, Idehara Toshitaka, Matsuishi Satoru, Sushko Peter V., Hosono Hideo	4. 巻 11
2. 論文標題 Rattling of Oxygen Ions in a Sub-Nanometer-Sized Cage Converts Terahertz Radiation to Visible Light	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 12358 ~ 12364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.7b06277	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ye Tian-Nan, Lu Yangfan, Li Jiang, Nakao Takuya, Yang Hongsheng, Tada Tomofumi, Kitano Masaaki, Hosono Hideo	4. 巻 139
2. 論文標題 Copper-Based Intermetallic Electride Catalyst for Chemoselective Hydrogenation Reactions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 17089 ~ 17097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b08252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Junjie, Hanzawa Kota, Hiramatsu Hidenori, Kim Junghwan, Umezawa Naoto, Iwanaka Koki, Tada Tomofumi, Hosono Hideo	4. 巻 139
2. 論文標題 Exploration of Stable Strontium Phosphide-Based Electrides: Theoretical Structure Prediction and Experimental Validation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 15668 ~ 15680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b06279	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wu Jiazhen, Gong Yutong, Inoshita Takeshi, Fredrickson Daniel C., Wang Junjie, Lu Yangfan, Kitano Masaaki, Hosono Hideo	4. 巻 29
2. 論文標題 Tiered Electron Anions in Multiple Voids of LaScSi and Their Applications to Ammonia Synthesis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1700924 ~ 1700924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201700924	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Horiba Koji, Yukawa Ryu, Mitsunashi Taichi, Kitamura Miho, Inoshita Takeshi, Hamada Noriaki, Otani Shigeki, Ohashi Naoki, Maki Sachiko, Yamaura Jun-ichi, Hosono Hideo, Murakami Youichi, Kumigashira Hiroshi	4. 巻 96
2. 論文標題 Semimetallic bands derived from interlayer electrons in the quasi-two-dimensional electride Y ₂ C	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045101-045101-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.045101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoshita Takeshi, Takemoto Seiji, Tada Tomofumi, Hosono Hideo	4. 巻 95
2. 論文標題 Surface electron states on the quasi-two-dimensional excess-electron compounds Ca ₂ N and Y ₂ C	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165430-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.165430	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lu Yangfan, Tada Tomofumi, Toda Yoshitake, Ueda Shigenori, Wu Jiazhen, Li Jiang, Horiba Koji, Kumigashira Hiroshi, Zhang Yaoqing, Hosono Hideo	4. 巻 95
2. 論文標題 Interlayer states arising from anionic electrons in the honeycomb-lattice-based compounds $A e A l S i$ ($A e = Ca, Sr, Ba$)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 125117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.125117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計28件 (うち招待講演 25件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Materials Science of Electrifies (Plenary Lecture)
3. 学会等名 77th Annual Meeting of Physical Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細野秀雄
2. 発表標題 エレクトライドの物質科学
3. 学会等名 熊本大学産業ナノ研究所開所記念シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Materials and Application of Electride
3. 学会等名 KAUST Chemical Science Program Seminar(online) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Materials Design of Oxide Semiconductors
3. 学会等名 Zhejiang Univ. MS&E Seminar(online) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomofumi Tada
2. 発表標題 Large scale atomistic simulations driven by neural-network potential molecular dynamics and kinetic Monte Carlo with external fields
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田朋史
2. 発表標題 第一原理計算とニューラルネットワークポテンシャル法による高ヒドリド伝導体の伝導メカニズム解析
3. 学会等名 透明酸化物光・電子材料第166委員会第92回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Electride Catalysts for Green Ammonia Synthesis: Idea and Extension (Plenary Lecture)
3. 学会等名 Chemistry Weeks of Mitsubishi Chemicals (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Electride catalysts for ammonia synthesis at mild conditions
3. 学会等名 Postech Seminar(online) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 細野秀雄
2. 発表標題 エレクトライド:物質、物性、応用(基調講演)
3. 学会等名 MRMフォーラム2020(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 細野秀雄
2. 発表標題 ありふれた元素の底力
3. 学会等名 Nnao tech 2021 特別シンポジウム「常識を疑え」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Materials Science and Application of Inorganic Electrides (Plenary lecture)
3. 学会等名 1st International Workshop on Computational Crystal Structure Exploration and Advanced Materials (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細野秀雄
2. 発表標題 アンモニアの低圧・低温合成用エレクトライド触媒（基調講演）
3. 学会等名 触媒討論会特別シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Novel Transparent Oxide Semiconductors: Design, Property and Application (Plenary lecture)
3. 学会等名 TCO 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Transparent Oxide Semiconductors: from materials design to display application as TFTs (Plenary lecture)
3. 学会等名 20th IUMRS-ICA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Anionic Electron and Hydride Ion in Compounds for Emerging Functionality (Plenary lecture)
3. 学会等名 E-MRS Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiazhen Wu
2. 発表標題 Transition metal-containing Intermetallic electrides as emerging catalysts for Ammonia Synthesis
3. 学会等名 EuropaCat 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Nakao
2. 発表標題 Ammonia synthesis mechanism using Ru/Ca ₂ NH catalyst; a first-principles study'
3. 学会等名 STAC-11 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Advances in Electrides: materials, properties, and application (Plenary lecture)
3. 学会等名 Nature Conference on Emergent Materials and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細野秀雄
2. 発表標題 有機EL応用を目指したアモルファス酸化物半導体 (基調講演)
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細野 秀雄
2. 発表標題 Electrides:new materials,properties and applications
3. 学会等名 2018 symposium on quantum materials:Grand Challenging andOpportunitues (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 WU JIAZHEN
2. 発表標題 Electride Concept in Intermetallic LaTMSi (TM=Sc,Fe,Co,Ru) for Catalytic Ammonia Synthesis
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Element Strategy in Materials Research (Plenary Lecture)
3. 学会等名 Materials Research Society Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Transparent Amorphous Oxide Semiconductors: from materials design to implementation to state of the art displays (Plenary Lecture)
3. 学会等名 Max Planck Lectures (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Creation of active functionality utilizing abundant elements (Plenary Lecture)
3. 学会等名 Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy (MCARE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 細野秀雄
2. 発表標題 細野秀雄: エレクトライドによる革新的触媒技術の実現 (基調講演)
3. 学会等名 日本化学会春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Transparent amorphous oxide semiconductors: materials design, electronic structure, and device applications (Plenary Lecture)
3. 学会等名 The 75th Device Research Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Recent Progress in Inorganic Electro-Active Materials (Plenary Lecture)
3. 学会等名 The 6th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideo Hosono
2. 発表標題 Hydrogen-doped Iron-based Superconductors (Plenary Lecture)
3. 学会等名 The International Conference on Neutron Scattering 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 アンモニア合成用触媒及該触媒を用いるアンモニア合成法	発明者 細野 秀雄、北野 政明、横山 壽治、原 亨和、服部 真史	権利者 国立大学法人東京工業大学、国立研究開発法人
産業財産権の種類、番号 特許、第7023457	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松石 聡 (Matsuishi Satoru) (30452006)	東京工業大学・元素戦略研究センター・准教授 (12608)	
研究分担者	多田 朋史 (Tada Tomofumi) (40376512)	東京工業大学・元素戦略研究センター・特任教授 (12608)	
研究分担者	金正煥 (Kim Junghwan) (90780586)	東京工業大学・元素戦略研究センター・助教 (12608)	
研究分担者	井手 啓介 (Ide keisuke) (70752799)	東京工業大学・科学技術創成研究院・助教 (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	飯村 壮史 (Iimura Soshi) (80717934)	東京工業大学・元素戦略研究センター・助教 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関