

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01953

研究課題名(和文) 可視プラズモニクスの新展開：第2世代材料の学理構築

研究課題名(英文) New Development in Visible Plasmonics: Theory Construction of 2nd-Generation Materials

研究代表者

佐藤 良太 (Sato, Ryota)

京都大学・化学研究所・助教

研究者番号：80629890

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：ナノサイズの貨幣金属(金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu))が特異的に有する光学特性に可視域での局在表面プラズモン共鳴(SLPR)がある。先行研究では、パラジウム(Pd)とインジウム(In)が規則的に配列した規則合金(B2-PdIn)の球状ナノ粒子が貨幣金属ナノ粒子に類似したLSPR特性を有すことを見出していた。本課題では、B2-PdInナノ粒子をモデル材料として詳細に解析し、得られた材料設計指針に基づいて他の規則合金(例えば白金(Pt)とInから成るC1-PtIn₂)ナノ粒子を合成することで、貨幣金属を含まない規則合金群が可視域に明瞭なLSPR吸収を示すことを実験と理論の両面から実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、貨幣金属の特異性を追求し、貨幣金属を含まない合金でこれを模倣することで、可視域にLSPR吸収を示す新たな材料群の創製に成功した。貨幣金属にかわる新奇可視プラズモニック合金材料の設計指針、即ち、プラズモニクスにおける広義の錬金術的材料創成の学理が構築されることによって、光学特性は同じであっても、化学特性は異なる材料の創製が可能になる。合金であれば元素の組み合わせは多様であり、候補材料も単一金属と比べてはるかに多く、特性のチューニングも容易となることから、研究の更なる深化による幅広い学術分野への波及効果や、社会実装可能な高性能光機能材料の開発が期待される。

研究成果の概要(英文)：Localized surface plasmon resonance (LSPR) in the visible region is well known as a unique optical property of nano-sized coinage metals, namely, gold (Au), silver (Ag), and copper (Cu). In our previous study, spherical nanoparticles of ordered alloy of palladium (Pd) and indium (In), B2-PdIn, were found to show LSPR properties similar to those of coinage metal nanoparticles. In this study, B2-PdIn nanoparticles were analyzed in detail as a model material, and other ordered alloys (e.g., C1-PtIn₂ composed of platinum (Pt) and In) were synthesized based on the obtained material design guidelines, thereby demonstrating both experimentally and theoretically that the novel ordered alloy group without coinage metal can show strong LSPR absorption in the visible region.

研究分野：無機合成化学、ナノ材料化学

キーワード：可視プラズモニクス 局在表面プラズモン共鳴 無機ナノ粒子 金属間化合物 規則合金 結晶構造 貨幣金属フリー 錬金術

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

(1) 中世ヨーロッパの教会で見られるステンドグラスや、日本の伝統工芸品として知られる切子に使用されている鮮やかな赤色は「金赤」と呼ばれている。その名の通り、赤色の発色の正体はガラス内部に封じ込められたナノメートルサイズの「金 (Au)」である。Au はナノメートルサイズの微粒子 (ナノ粒子) になると「局在表面プラズモン共鳴 (LSPR)」と呼ばれる自由電子の集団振動現象により緑色の光を吸収するため、その補色として赤色を呈する。吸収された光は近接場光として Au ナノ粒子表面に局在するため、漏斗が液体を集液するかの如く、LSPR によって光子を局所に集光することができる。そのため、表面増強ラマン散乱 (SERS) による分子センシングや色素分子の蛍光増強など、近接場光と吸着分子との相互作用は魅力的な研究対象となっている。近年では太陽光のようなエネルギー密度の低い低品位な光を高品位化し得る現象としても注目されており、創エネ・省エネ分野での応用も活発に検討されている。

(2) 第 11 族元素に分類される金 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu) は貨幣金属と呼称され、それらの単一および合金ナノ粒子は、本質的に (球状でキャリア密度制御せずに) 可視域に LSPR 吸収を示す唯一の材料群として長い間認識されてきた。無尽蔵とされる太陽光エネルギーの 52% は可視域に分布しており、有機分子や金属錯体、無機半導体にとって可視域の光は分子内電子遷移や配位子から中心金属への電荷移動 (LMCT)、バンド間遷移などを誘起する極めて重要な波長領域である。一方で、太陽光によってこれらの遷移過程を高効率化し得るプラズモン材料は、ここ 160 年来、実用的には第 11 族元素からなる単一金属や固溶合金のみであり、第 11 族元素以外の元素で構成される規則合金の報告は皆無に等しい。

(3) 前述の背景の下、我々は可視領域に LSPR 吸収を示す新たな金属ナノ材料として、インジウム (In) とパラジウム (Pd) の塩化セシウム型合金 ($B2$ -PdIn) を世界に先駆けて発見した (図 1)。この発見は、貨幣金属元素を使用せずとも、その他の元素を巧みに組み合わせ、原子レベルで適切に配列させることで、本質的に (球状でキャリア密度制御せずに) 可視域に LSPR 特性を示す合金ナノ材料群を新たに提案できる可能性が高いことを端的に示しており、貨幣金属 (とりわけ Au や Ag) にかわる新奇可視プラズモニック合金材料の提案、即ち、プラズモニクスにおける広義の錬金術的材料創成への発展を期待させるものである。

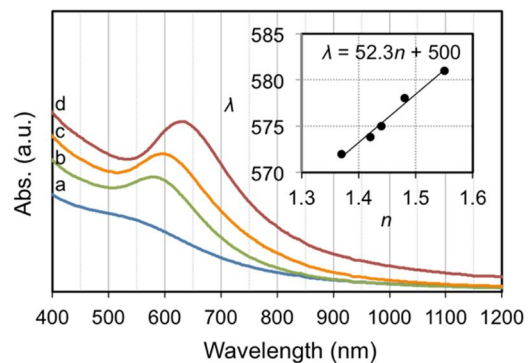
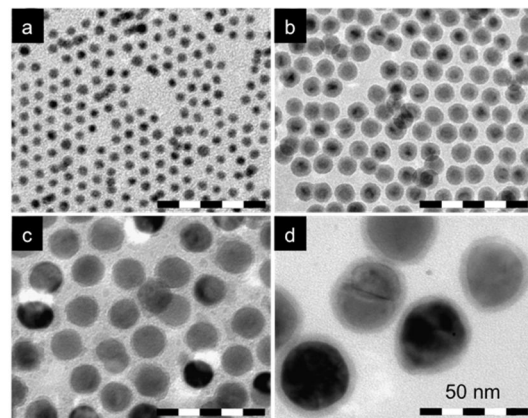


図 1 (a) 4 nm、(b) 7 nm、(c) 15 nm、(d) 31 nm $B2$ -PdIn ナノ粒子の TEM 像と Vis-NIR 吸収スペクトル

2. 研究の目的

我々によって見出された $B2$ -PdIn は、材料コストは Au よりも低く抑えられ、Pd 基合金であるため Ag よりも高い化学的安定性を有していることが推測されることから、Au や Ag の代替材料になり得るポテンシャルを十分に秘めている。本課題では、 $B2$ -PdIn 以外の可視プラズモニック合金材料を探索しライブラリを構築するとともに、可視 LSPR 発現のための電子/結晶構造的な要請の定量化、可視プラズモニック材料としての特性評価、可視プラズモニック材料としての応用などを目的の柱として研究を遂行する。これにより、材料探索的な研究のみではなく、学理を構築する高次の研究へと段階を移行することで、第 1 世代材料 (貨幣金属) に加えて新たな選択肢になり得る第 2 世代材料としての地位確立を主要目的とする。

3. 研究の方法

(1) $B2$ -PdIn ナノ粒子の可視プラズモニック特性の実証：走査透過電子顕微鏡 (STEM) による電子エネルギー損失分光法 (EELS) を用いた二次元マッピングにより、単一粒子表面における LSPR を可視化する。

(2) $B2$ -PdIn ナノ粒子の可視プラズモニック材料としてのポテンシャル評価： $B2$ -PdIn ナノ粒子のモル吸光係数や Q 値 ((LSPR 吸収ピークのピーク波長と半値幅から算出)) を導出し、Au ナノ粒子や Ag ナノ粒子の各々の値と比較する。

(3) $B2$ -PdIn における可視 LSPR 現象の起源の解明：第一原理計算によって $B2$ -PdIn の電子構

造（特にフェルミ準位近傍の状態密度（DOS））や光励起電子ダイナミクスを計算する。光励起電子ダイナミクスは第一原理計算プログラム「SALMON」(引用文献)を利用し、光によって励起された電子のダイナミクス（動力的挙動）を実時間実空間で可視化する(引用文献)。B2構造という特徴的な規則化合金構造を有している点や、遷移（dブロック）金属と典型（pブロック）金属の合金であることなど、B2-PdInの特徴に着目し、得られた種々の計算結果からAuやAgとの共通点や相違点を洗い出すことで、B2-PdInの特異性が何に起因しているのか、その重要因子を注意深く探る。

(4) 新奇可視プラズモニック合金材料の探索：上記(3)の検討から推測された重要因子に基づき、B2-PdInと同様に可視域近傍でのLSPR挙動が期待される合金材料を推測し、実験と理論の両観点から検証する。

4. 研究成果

(1) B2-PdIn ナノ粒子の可視プラズモニック特性の実証：7 nm の B2-PdIn ナノ粒子溶液において、溶媒の屈折率 n の変化に伴って吸収ピーク波長が一次の関係で変化することが事前検討で確認された(図1)。これはLSPRに起因する吸収ピークに特徴的な傾向であり、線形関係における n の係数は屈折率感度と呼ばれる。52.3 nm/RIU という値はAuやAgの屈折率感度に近いことから、B2-PdInがAuやAgと同様に可視プラズモン材料であることが強く示唆された。しかしながら、LSPR由来の吸収である直接的な証拠ではないため、STEM-EELSによって単一粒子における表面プラズモンモードの直接観測を試みた。Vis-NIR吸収スペクトルより、31 nmのB2-PdInナノ粒子はクロロホルム中で646 nm (1.92 eV) に吸収ピークを有する(図1)。一方、SiN支持膜上に散布された31 nmの単一B2-PdInナノ粒子では、粒子表面近傍の損失スペクトルにおいて明確な損失ピークが観測され、そのピークトップは1.94 eVであった。損失エネルギー1.6 eVから2.1 eVまでのスペクトル強度を積算した値でSTEM像に対応する二次元マップを作成すると、粒子表面近傍における顕著なエネルギー損失が確認された(図2)。以上の結果は、可視領域の光のエネルギーに相当する1.6 eV (775 nm) から2.1 eV (590 nm) 程度のエネルギーでLSPRが誘起されることを示しており、B2-PdInが可視プラズモニック合金材料であることが実験的に証明された。

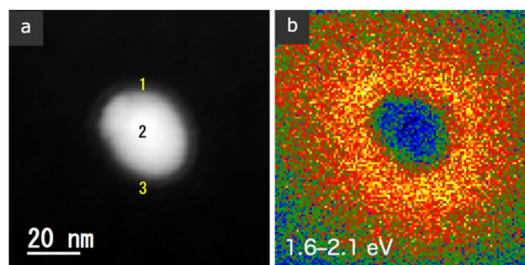


図2 31 nm B2-PdIn ナノ粒子の(a)STEM像と(b)エネルギー損失マッピング像

(2) B2-PdIn ナノ粒子の可視プラズモニック材料としてのポテンシャル評価：B2-PdIn ナノ粒子のVis-NIR吸収スペクトルで観測されたLSPR吸収ピークより、性能指数であるQ値を求めたところ、約2.6とという値が得られた。球状のAuナノ粒子およびAgナノ粒子のQ値はそれぞれ6および3程度であることから、B2-PdInはAuやAgよりもより長波長(低エネルギー)側にLSPR吸収を示す一方で、Auに近しいQ値を有することが判明した(図3)。この傾向はモル吸光係数でも同様であり、球状のAuナノ粒子およびAgナノ粒子における粒子1モル個あたりのモル吸光係数がそれぞれ 6×10^7 および $5 \times 10^8 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 程度であるのに対し、B2-PdInナノ粒子のモル吸光係数は $3 \times 10^7 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 程度であった。また、B2-PdInはナノ粒子のサイズ増大に伴うLSPR波長の長波長シフトが大きく、粒径を最適化することで、既存材料の球状金属ナノ粒子では困難であった近赤外域近傍の光の高効率利用を可能とする新規プラズモン材料になり得る可能性が示唆された。

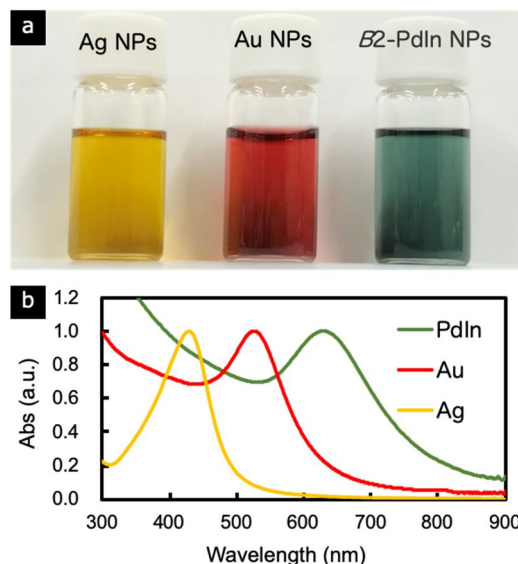


図3 Au、Ag、B2-PdIn ナノ粒子分散液の(a)写真と(b)UV-Vis-NIR吸収スペクトル

(3) B2-PdInにおける可視LSPR現象の起源の解明：第一原理計算によってB2-PdInクラスタのフェルミ準位近傍のDOSを計算したところ、その電子構造は貨幣金属に酷似しており、フェルミ準位近傍の電子（自由電子）はsp軌道性の高いバンド（spバンド）を占有していることが判明した。LSPRはこの自由電子が集団振動する現象であるが、より強く束縛された内核の電子（束縛電子）は主にdバンドを占有しており、束縛電子は自由電子の集団振動とは逆位相で振動することがAuクラスタの光励起電子ダイナミクスから明らかになっている(引用文献)。この現象はスクリーニングと呼ばれ、Auでは全ての原子の束縛電子が一様にスクリーニングに関

与している。興味深いことに、 $B2$ -PdIn では In の d バンドを占有する束縛電子は Pd の d バンドを占有する束縛電子よりもより強く束縛されているため、スクリーニングへの寄与が極めて小さく、異種元素からなる合金特有の貨幣金属との相違点が認められた。以上の結果を受け、電子構造と結晶構造の重要性を検証するために、Cu と酷似する DOS を有する規則合金として知られる $L1_0$ -ZnPd (引用文献) のナノ粒子を合成したところ、UV-Vis-NIR 吸収スペクトルにおいて $B2$ -PdIn ナノ粒子のような吸収ピークは観測されなかった。以上の結果は、電子構造のみならず、規則合金の結晶構造も重要因子の一つであることを強く示唆している。

(4) 新奇可視プラズモニック合金材料の探索：上述の検討から示唆された重要因子を基に、設計指針の立案に資する新規材料群の探索に注力した。その結果、可視域やその近傍に LSPR を発現し得る有望な $B2$ 合金材料を複数種にわたって発掘し、実際に化学的または物理的な手法を用いてナノ粒子やナノ構造体を形成することで LSPR 吸収ピークの発現に成功した。一例として、In と白金 (Pt) のフッ化カルシウム型合金 ($C1$ -PtIn₂) は、 $B2$ -PdIn と同様、球状ナノ粒子の状態で見域に明瞭な LSPR 吸収を示した。ナノ粒子合成は典型金属ナノ粒子の合成手法 (引用文献) に倣い、強塩基条件下において含酸素化合物を使用せずに Pt 種粒子と In アミド錯体を反応させることで $C1$ -PtIn₂ ナノ粒子を合成した。合成されたナノ粒子の粉末 X 線回折 (XRD) 測定及び透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察により、 $C1$ 構造の結晶構造を有する平均粒径 44 nm の球状 PtIn₂ ナノ粒子が主に形成されていることを確認した。粒子のクロロホルムへの分散性は良好であり、分散液の光吸収スペクトルでは 551 nm (2.25 eV) に明確な吸収ピークを観測した (図 4)。加えて、この吸収ピークが LSPR に起因することを単一粒子の STEM-EELS により実証し、SERS における散乱強度の増強からプラズモン材料としての機能発現を確認した。第一原理計算では $C1$ -PtIn₂ ナノ粒子の光吸収スペクトルに加え光励起電子ダイナミクスをシミュレーションし、 $A1$ (Cu 型) 構造の貨幣金属とは異なる特徴的なスクリーニング挙動が明らかになり、規則合金の結晶構造や組成が LSPR 特性の制御因子になり得ることが示された。

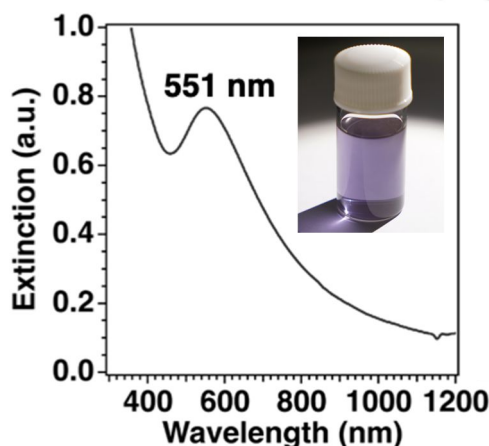


図 4 $C1$ -PtIn₂ ナノ粒子分散液の写真と UV-Vis-NIR 吸収スペクトル

本研究課題における以上の研究成果は、我々が最初に発見した $B2$ -PdIn が例外的な材料ではない事を証明しており、種々の規則合金材料が貨幣金属に変わる新たな可視プラズモニック金属材料になり得ることを端的に示している。今後は、確度のより高い学理を構築するために、新奇プラズモニック合金ナノ粒子群のライブラリをより一層充実させるとともに、プラズモニック光触媒機能の創出に向けた反応系構築等を引き続き検討することで、機能性材料としての地位確立を目指す。

< 引用文献 >

- SALMON (Scalable Ab-initio Light-Matter simulator for Optics and Nanoscience)
<https://salmon-tddft.jp> (最終閲覧日：2022年6月27日)
- K. Iida, M. Noda, K. Ishimura, K. Nobusada, *J. Phys. Chem. A* **2014**, *118*, 11317.
- A. P. Tsai, S. Kameoka, Y. Ishii, *J. Phys. Soc. Jpn.* **2004**, *73*, 3270.
- M. He, L. Protesescu, R. Caputo, F. Krumeich, M. V. Kovalenko, *Chem. Mater.* **2015**, *27*, 635.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nakagawa Fumiko, Saruyama Masaki, Takahata Ryo, Sato Ryota, Matsumoto Kenshi, Teranishi Toshiharu	4. 巻 144
2. 論文標題 <i>In Situ</i> Control of Crystallinity of 3D Colloidal Crystals by Tuning the Growth Kinetics of Nanoparticle Building Blocks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 5871-5877
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/jacs.1c12456	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsumoto Kenshi, Sato Ryota, Tatetsu Yasutomi, Takahata Ryo, Yamazoe Seiji, Yamauchi Miho, Inagaki Yuji, Horibe Yoichi, Kudo Masaki, Toriyama Takaaki, Auchi Mitsunari, Haruta Mitsutaka, Kurata Hiroki, Teranishi Toshiharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Inter-element miscibility driven stabilization of ordered pseudo-binary alloy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1047
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-022-28710-0	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 -

1. 著者名 Saruyama Masaki, Sato Ryota, Teranishi Toshiharu	4. 巻 54
2. 論文標題 Transformations of Ionic Nanocrystals via Full and Partial Ion Exchange Reactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 765-775
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.accounts.0c00701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 2件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 佐藤良太、関口雄平、高畑遼、松本憲志、寺西利治
2. 発表標題 Pd-Pナノ粒子の元素選択的置換反応における合金化機構の解明
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本憲志、高畑遼、佐藤良太、寺西利治
2. 発表標題 Inと固溶できないFeのPd-In合金ナノ粒子内への拡散過程
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹熊晴香、佐藤良太、飯田健二、川脇徳久、治田充貴、倉田博基、信定克幸、寺西利治
2. 発表標題 C1-PtIn ₂ 規則合金ナノ粒子の合成とプラズモン特性
3. 学会等名 第18回プラズモニクスシンポジウム ナノフォトニクス研究に新たな地平を拓く 最新技術の理論から応用まで
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruka Takekuma, Ryota Sato, Kenji Iida, Tokuhisa Kawawaki, Mitsutaka Haruta, Hiroki Kurata, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Synthesis and plasmonic properties of C1-ordered PtIn ₂ alloy nanoparticles
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 猿山雅亮、高畑遼、佐藤良太、寺西利治
2. 発表標題 硫化銅ナノ粒子生成過程における三次元超格子形成と配列構造変化
3. 学会等名 第72回コロナおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本憲志、佐藤良太、立津慶幸、寺西利治
2. 発表標題 第三元素の固溶性を駆動力とした新規FePd3層状合金の形成
3. 学会等名 ナノ学会 第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹熊晴香、佐藤良太、飯田健二、川脇徳久、治田充貴、倉田博基、寺西利治
2. 発表標題 C1-PtIn2規則合金ナノ粒子の合成とプラズモン特性
3. 学会等名 ナノ学会 第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 猿山雅亮、高畑遼、佐藤良太、寺西利治
2. 発表標題 硫化銅ナノ粒子三次元超構造体の自発形成と配列構造変化
3. 学会等名 ナノ学会 第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruka Takekuma, Ryota Sato, Kenji Iida, Tokuhiisa Kawawaki, Mitsutaka Haruta, Hiroki Kurata, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Synthesis and Optical Properties of C1-PtIn2 Plasmonic Nanoalloys (C1-PtIn2プラズモニックナノ粒子の合成と光学特性)
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会 (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤良太
2. 発表標題 湿式化学合成による半導体ナノ粒子の精密構造制御
3. 学会等名 日本学術振興会 光電相変換125委員会 セミナー「精密合成化学が拓く新たな光電相互変換工学」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹熊晴香、佐藤良太、飯田健二、川脇徳久、治田充貴、倉田博基、寺西利治
2. 発表標題 擬貨幣金属合金ナノ粒子の合成とプラズモン特性
3. 学会等名 ナノ学会 第18回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Haruka Takekuma, Ryota Sato, Kenji Iida, Tokuhisa Kawawaki, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Synthesis and Plasmonic Properties of Pseudo-Coinage Alloy Nanoparticles
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤良太、飯田健二、川脇徳久、治田充貴、倉田博基、寺西利治
2. 発表標題 新奇プラズモニック合金ナノ材料の創出
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子諒太、佐藤良太、立津慶幸、寺西利治
2. 発表標題 Fe-Ni-Pd三元系合金ナノ粒子の合成と磁気特性
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryota Sato, Kenji Iida, Tokuhiisa Kawawaki, Katsuyuki Nobusada, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Alchemy for Plasmonics: Coinage Metal-Free Visible-Plasmonic Nanoalloys
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenshi Matsumoto, Ryota Sato, Yasutomi Tatetsu, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 First Synthesis of Mille-Feuille FePd ₃ Framework by the Introduction of a Third Element
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Sato, Kenji Iida, Tokuhiisa Kawawaki, Haruka Takekuma, Shigehisa Egawa, Katsuyuki Nobusada, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Alchemy for Plasmonics: Coinage Metal-Free Visible-Plasmonic Nanoalloys
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤良太
2. 発表標題 無機ナノ粒子の精密構造制御と高機能化
3. 学会等名 技術新化学技術推進協会 先端化学・材料技術部会 新素材分科会 講演会「ナノ粒子・サブナノ粒子の精密デザインとその可能性」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本憲志、佐藤良太、立津慶幸、寺西利治
2. 発表標題 微量第三元素の固溶性を駆動力とした新奇規則合金ナノ粒子の形成
3. 学会等名 ナノ学会 第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤良太、飯田健二、川脇徳久、寺西利治
2. 発表標題 貨幣金属を含まない可視プラズモニック合金ナノ材料の創出
3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Sato, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Nano-Pseudomorphic Chemistry: Epoch-Making Chemical Transformation for Nanomaterial Synthesis
3. 学会等名 Asian Symposium on Nanoscience and Nanotechnology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤良太、飯田健二、川脇徳久、江川鎮永、信定克幸、寺西利治
2. 発表標題 プラズモニクスにおける錬金術 - 貨幣金属フリー可視プラズモニック合金ナノ粒子の創出 -
3. 学会等名 ナノ学会 第16回大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	飯田 健二 (Iida Kenji) (20726567)	北海道大学・触媒科学研究所・准教授 (10101)	
研究分担者	川脇 徳久 (Kawawaki Tokuhisa) (60793792)	東京理科大学・理学部第一部応用化学科・助教 (32660)	
研究分担者	治田 充貴 (Haruta Mitsutaka) (00711574)	京都大学・化学研究所・准教授 (14301)	

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
---------	---------