

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21236

研究課題名（和文）多様な無機ナノ粒子三次元超構造体の合成と機能開拓

研究課題名（英文）Synthesis and function of diverse three-dimensional inorganic nanoparticle superstructures

研究代表者

猿山 雅亮（Saruyama, Masaki）

京都大学・化学研究所・特定准教授

研究者番号：50636628

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：化学的液相合成法を用いたナノ粒子超格子の一段階合成手法において、硫化銅ナノ粒子の配列構造の制御を試みた。配位子であるアルキルアミンの濃度が大きくなると、球状硫化銅ナノ粒子の扁平率が大きくなり、よりディスク形状に近づくことが分かった。その後の自己集合段階において、球状硫化銅ナノ粒子は面心立方構造に集積し、中心対称性が高い三次元超格子が形成した。一方でディスク状硫化銅ナノ粒子はカラムナー状に集積することで一方向に伸びた超格子が選択に得られた。さらに、硫化銅ナノ粒子超格子にほかの金属カチオンを反応させることで、銅カチオンとの置換によって別の金属硫化物超格子に変換することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ粒子超格子を形成する従来の手法では多くの工程が必要で、量的にわずかしが得られないものがほとんどであったが、本研究で開発した手法によって迅速でスケーラブルなナノ粒子超格子を得られ、様々な応用に対する展開可能性を広げることができたと考えている。さらに、ナノ粒子の配列や組成を大きく制御できるようになったことで、広い研究分野での新しい物性開拓につながると期待される。

研究成果の概要（英文）：In a one-step synthesis method of nanoparticle superlattices using chemical liquid-phase synthesis, control of the arrangement structure of copper sulfide nanoparticles was attempted. It was found that as the concentration of the alkylamine ligand increased, the aspect ratio of the spherical copper sulfide nanoparticles increased, approaching a more disk-like shape. In the subsequent self-assembly stage, the spherical copper sulfide nanoparticles aggregated into a face-centered cubic structure, forming a highly symmetric three-dimensional superlattice. On the other hand, the disk-shaped copper sulfide nanoparticles formed a unidirectional elongated superlattice by assembling in a columnar manner. Furthermore, by reacting other metal cations with the copper sulfide nanoparticle superlattice, successful conversion to a different metal sulfide superlattice was achieved through substitution with copper cations.

研究分野：ナノ構造化学

キーワード：ナノ粒子 自己集合 超格子 形状制御 カチオン交換

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

無機ナノ粒子の合成技術の発展により、膨大な種類の無機ナノ粒子の合成が可能になった。それにより個々の(バラバラの状態での)ナノ粒子がもつ性質の解明が劇的に進んだ一方で、ナノ粒子が自己集積して形成される「超構造体」の物性にも興味を持たれている。超構造体はナノ粒子間隙をもつ無機多孔体としての性質に加え、隣接するナノ粒子同士の電子・スピン・遷移双極子カップリングの最大化による強い協奏的特異物性の発現が期待される。しかしながら超構造体の検証は世界的に見ても発展途上で、一部の半導体や金属ナノ粒子について自己集合プロセスやキャリア輸送特性の検証がなされている程度である。しかもその多くは、均一サイズのナノ粒子溶液を基板上で乾燥させて得られるもので、二次元膜としての検討がほとんどである。三次元超構造体はC.A.MirkinらによるDNA相補鎖を組み込んだものが知られるが、プロセスの複雑さから汎用性の高い手法とは言えない。

潜在的な新規機能の発現が期待されるにもかかわらず、これまで超構造体の検証が滞っていたのは、高品質な超構造体の合成が困難なためである。したがって、貴金属・半導体・磁性体問わず超構造体を簡便に合成する手法の開発が大いに望まれる。

### 2. 研究の目的

上記の背景・課題を踏まえ、多様な組成のナノ粒子からなる三次元超構造体の汎用的で信頼できる合成手法を確立し、それらの新奇な光学的・磁気的物性を開拓することを本研究の目的とする。

### 3. 研究の方法

上記目的を達成するために、下記項目について実施した。

#### (1) van der Waals 力を利用した迅速なナノ粒子超構造の合成と汎用性の検討

van der Waals 力は、超構造体の形成においてナノ粒子間を引きつけ合う力としてあらゆる物質に普遍的に存在するため、潜在的には全ての機能性無機ナノ粒子の超構造体を形成するためのトリガーとなりうる。本検討では、液相反応系中において、ナノ粒子表面を保護する配位子として、直鎖アルキルアミン・カルボン酸・チオールなどを検討し、van der Waals 力が効率よくはたらく条件を探索する。他にも前駆体濃度や反応温度といった因子を試行し、貴金属、半導体、磁性体等からなる様々な組成の無機ナノ粒子超構造体の生成を目指す。

#### (2) 無機コアの物質変換による無機超構造ライブラリの拡張

合成したナノ粒子超構造体の合成に対して、ガルバニ置換反応やカチオン交換法を適用することで、無機コアの組成を自在に変化させ、物質ライブラリを大きく拡充する。無機コアの結晶変化により規則化度の低下および構造体の崩壊が生じる場合には、事前に薄くシリカコートすることで、物理的な剛性を上げることも検討する。

#### (3) 超構造中の規則化度制御による物性変化の検証

(1)(2)で得られた超構造体の多孔体としての基本的な性質は、不活性ガスの脱着等温線測定で評価する。半導体ナノ粒子超構造体では、励起状態のエネルギー移動が高效率で起こることが期待されることから、過渡吸収分光法による励起状態の寿命測定を行う。磁性体については、振動試料型磁力計(VSM)により磁化率や保持力を評価する。また、貧溶媒沈殿法により配列規則性を持たないナノ粒子ランダム集合体を調製し、同様の物性評価を行う。各種物性の比較により、超構造体中のナノ粒子間カップリングが引き起こす特異な物性を明らかにする。

### 4. 研究成果

従来の無機ナノ粒子の化学合成でよく用いられるかさ高いオレイル基をもつ保護配位子の代わりに、より短い直鎖のドデシル基をもつ配位子を用いることでナノ粒子同士の立体反発力を抑制し、ナノ粒子同士がより自己集合しやすくなることを発見した。この結果を利用し、様々な無機ナノ粒子超構造体の一段階合成を実施した。

球状リン化ニッケル( $\text{NiP}_x$ )ナノ粒子合成溶液中における自発的な超構造体形成について、前駆体である $\text{Ni}(\text{acac})_2$ に対するトリオクチルホスフィン(TOP)のモル比によって $\text{NiP}_x$ ナノ粒子の配列規則化度を制御できることを見出した(図1a)。具体的には、 $\text{TOP}/\text{Ni}$ が大きいほどナノ粒子が長距離秩序をもって配列することが分かった。この機構を解明するために、SPRING-8の高輝度X線を用いて、反応溶液中で生成したナノ粒子および超構造体からの散乱をリアルタイムで検出するための*in situ*小角X線散乱(SAXS)測定を実施した。自己集合までのナノ粒子成長過程をフィッティングにより求めると、 $\text{TOP}/\text{Ni}(\text{acac})_2$ 比が大きいほど自己集合前の $\text{NiP}_x$ ナノ粒子のサイズ分散が小さくなることが明らかとなり、サイズ均一性が高いほど規則的な最密充填構造に集積しやすくなることが分かった(図1)。これは、TOPが $\text{NiP}_x$ ナノ粒子を強く保護し、過剰な成長が抑制されることで個々の粒子サイズ均一性が高まることによるためと考えられる。また、*in situ* SAXSパターンから、 $\text{TOP}/\text{Ni}(\text{acac})_2$ 比に関わらず自己集合が開始する粒子サイズはほぼ一定(約9 nm)であり、成長した $\text{NiP}_x$ ナノ粒子同士の大きなファンデルワールス引力が

自己集合の主な駆動力であることを、配位子間の立体反発力を加味した計算とともに明らかにした。配列規則化度によってナノ粒子間隙のサイズ分布が大きく変化することも窒素吸脱着測定により明らかにしており、細孔内での分子選択的な触媒反応への展開が期待される（図2）。

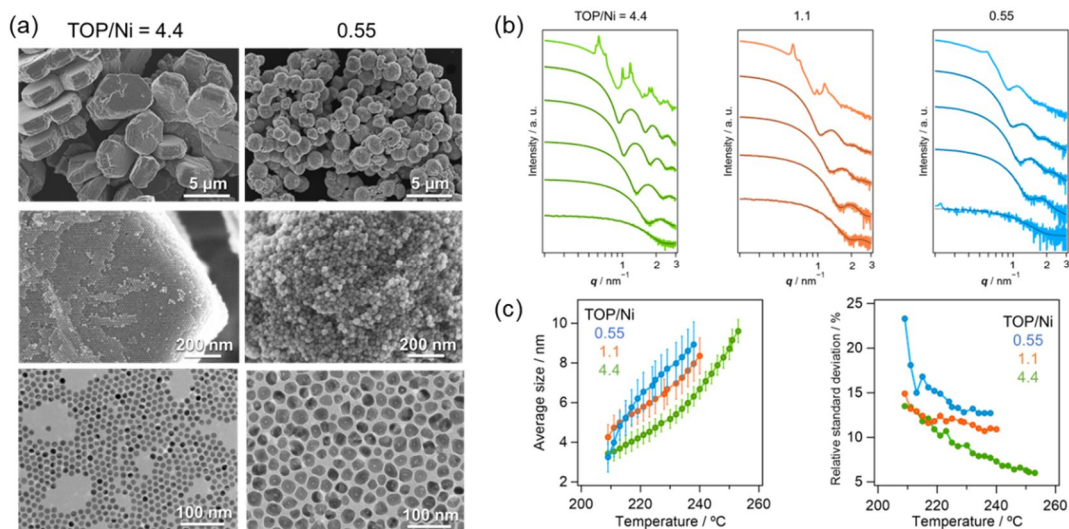


図1. (a)  $\text{NiP}_x$ 超構造体のSEM像 (TOP/Ni = 4.4、0.55)、(b) 種々のTOP/Ni比における *in situ* SAXSパターンの時間変化、(c) *in situ* SAXSパターンから解析したナノ粒子サイズと標準偏差の推移

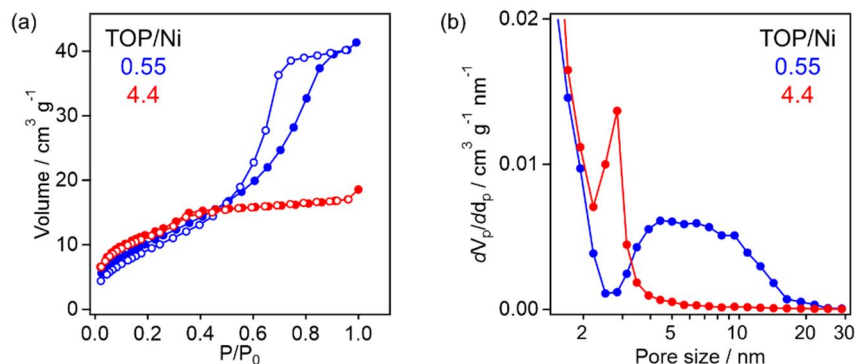


図2. TOP/Ni = 4.4と0.55で合成した $\text{NiP}_x$ 超構造体の (a)  $\text{N}_2$ 吸脱着等温線と (b) 細孔径分布

$\text{NiP}_x$ の系を応用し、表面プラズモン共鳴特性をもつ貴金属として銀ナノ粒子の超構造体の一段階合成を目指した。銀錯体をアルキルアミン中で加熱することで、球状のサイズ均一性の高い銀ナノ粒子が細密充填した数 $\mu\text{m}$ サイズの三次元超構造体を選択的に得ることに成功した。分散状態の銀ナノ粒子溶液が400 nm付近にのみプラズモン共鳴による吸収を示すのに対して、超構造体は近赤外領域まで広いブロードな吸収をもつことが確認された。実際に、近赤外光照射によって発熱することが確認できており、銀ナノ粒子超構造体は弱いエネルギーの光を利用できる反応場としての応用展開が期待される。

物質普遍的な van der Waals 力をイオン性結晶ナノ粒子にも展開するため、光学的な応用展開も見据え、プラズモン特性をもつ半導体である硫化銅ナノ粒子の一段階超構造体形成も実施した。銅錯体をアルカンチオール、ドデシルアミンとともに加熱すると、球状の硫化銅ナノ粒子が規則的に配列した三次元超構造体が自発的に形成することを見出した。しかし、さらに反応を継続すると、規則化度が徐々に減少し最終的にディスク状硫化銅ナノ粒子のランダム凝集体へと変化する現象も発見した。*In situ* SAXS 測定によって、自己集合後に硫化銅ナノ粒子で構築された面心立方格子が徐々に膨張するとともにアモルファス化が進行する様子が観測され、球状粒子が反応中にディスク形状へと異方成長することでストレスにより格子が乱れたと考えられる（図3）。また、この配列規則化度にもなって可視～近赤外領域の吸収スペクトルが変化する現象も発見した。これは粒子間のプラズモンカップリング強度が変化したことによるものと考えられ、配列による協奏的物性の制御につながると期待される。

また、配位子条件の調整によって粒子形状を容易に制御できる硫化銅ナノ粒子の特徴を利用して、超構造体全体の構造異方性を制御することも試みた。硫化銅ナノ粒子の合成において、配位子であるアルキルアミンの濃度が大きくなると、球状硫化銅ナノ粒子の扁平率が大きくなり、よりディスク形状に近づくことが分かった。その後の自己集合段階において、球状硫化銅ナノ粒子は面心立方構造に集積し、中心対称性が高い三次元超構造体が形成した。一方でディスク状硫

化銅ナノ粒子はカラムナー状に集積することで一方向に伸びた超構造体が選択に得られた。小角 X 線散乱測定によってナノディスクは面心立方構造とは異なる周期構造で規則的な配列をもつことが明らかになった。硫化銅ナノ粒子の形状は、超構造体内の硫化銅の結晶配向にも大きな違いをもたらした。すなわち、球状の粒子は結晶構造をランダムに配向させて集合するのに対し、ナノディスクは短軸に平行な硫化銅の a 軸をそろえて集合しており、超構造体全体にわたって結晶軸をそろえていることが分かった。これにより超構造体の長軸方向に対する直線偏光の吸光度や複屈折について角度依存性が見られ、異方的な光学特性が発現することを発見した。さらに、硫化銅ナノ粒子超構造体にほかの金属カチオンを反応させることで、銅カチオンとの置換によって別の金属硫化物超構造体に変換することに成功した。特に、加熱によりカチオン交換反応が大きく促進され、ほぼすべての銅イオンを様々な金属カチオンで置換できることを見出した。超構造体全体の形状やナノ粒子の配列も維持されており、新しい量子ドットベースの材料群としてこれまでにない光物性の探索が可能になると期待される。

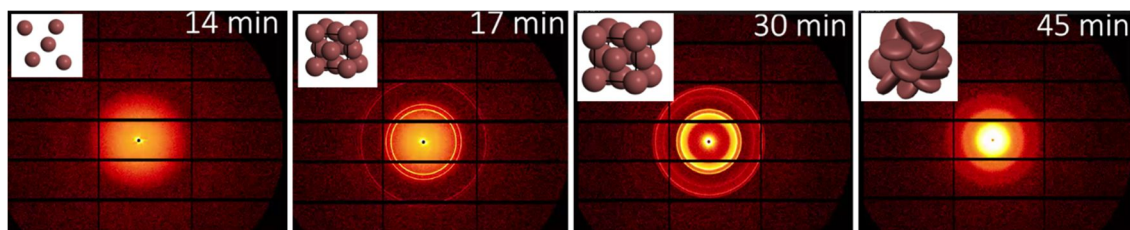


図 3. 硫化銅ナノ粒子超構造体生成反応における二次元 *in situ* SAXS パターンと対応する生成物構造の時間変化の模式図

本研究課題で得られた成果は、これまで大きな工程負荷を要したナノ粒子超構造体の生成手法に比べて、一段階反応で迅速かつスケラブルな超構造体形成を可能にするものであり、これまで量的に困難であった様々な利用展開につながると期待される。特に、合成反応溶液中での自己集合減少を利用してこれほど多様なナノ粒子超構造体を得た例は少なく、本手法を積極的に展開することで、新しいナノ物質群を世界に先駆けて構築できると期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Christian Mark Pelicano, Masaki Saruyama, Ryo Takahata, Ryota Sato, Yasutaka Kitahama, Hiroyuki Matsuzaki, Taro Yamada, Takashi Hisatomi, Kazunari Domen, Toshiharu Teranishi	4. 巻 32
2. 論文標題 Bimetallic Synergy in Ultrafine Cocatalyst Alloy Nanoparticles for Efficient Photocatalytic Water Splitting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2202987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202202987	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 Kotaro Nakagawa, Hideki Hirori, Shunsuke A. Sato, Hirokazu Tahara, Fumiya Sekiguchi, Go Yumoto, Masaki Saruyama, Ryota Sato, Toshiharu Teranishi, Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 18
2. 論文標題 Size-controlled quantum dots reveal the impact of intraband transitions on high-order harmonic generation in solids	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 874-878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41567-022-01639-3	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 Kenichi Cho, Hirokazu Tahara, Takumi Yamada, Hidekatsu Suzuura, Terumasa Tadano, Ryota Sato, Masaki Saruyama, Hideki Hirori, Toshiharu Teranishi, and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 22
2. 論文標題 Exciton-Phonon and Trion-Phonon Couplings Revealed by Photoluminescence Spectroscopy of Single CsPbBr <sub>3</sub> Perovskite Nanocrystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 7674-7681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.2c02970	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 Fumiko Nakagawa, Masaki Saruyama, Ryo Takahata, Ryota Sato, Kenshi Matsumoto, Toshiharu Teranishi	4. 巻 144
2. 論文標題 In Situ 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 Masaki Saruyama, Christian Mark Pelicano, Toshiharu Teranishi	4. 巻 13
2. 論文標題 Bridging electrocatalyst and cocatalyst studies for solar hydrogen production via water splitting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 2824-2840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SC06015E	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 Kenichi Cho, Takumi Yamada, Hirokazu Tahara, Terumasa Tadano, Hidekatsu Suzuura, Masaki Saruyama, Ryota Sato, Toshiharu Teranishi, Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 21
2. 論文標題 Luminescence Fine Structures in Single Lead Halide Perovskite Nanocrystals: Size Dependence of the Exciton-Phonon Coupling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 7206-7212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c021	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 Zhanzhao Li, Masaki Saruyama, Toru Asaka, Yasutomi Tatetsu, Toshiharu Teranishi	4. 巻 373
2. 論文標題 Determinants of crystal structure transformation of ionic nanocrystals in cation exchange reactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 332-337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abh2741	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 Go Yumoto, Hideki Hirori, Fumiya Sekiguchi, Ryota Sato, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi, Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 12
2. 論文標題 Strong spin-orbit coupling inducing Autler-Townes effect in lead halide perovskite nanocrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-23291-w	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 Kotaro Nakagawa, Hideki Hirori, Yasuyuki Sanari, Fumiya Sekiguchi, Ryota Sato, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi, and Yoshihiko Kanemitsu	4. 巻 5
2. 論文標題 Interference effects in high-order harmonics from colloidal perovskite nanocrystals excited by an elliptically polarized laser	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 16001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.5.016001	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 M. Saruyama, R. Sato, T. Teranishi	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 -

1. 著者名 T. Nishino, M. Saruyama, Z. Li, Y. Nagatsuma, M. Nakabayashi, N. Shibata, T. Yamada, R. Takahata, S. Yamazoe, T. Hisatomi, K. Domen, and T. Teranishi	4. 巻 11
2. 論文標題 Self-activated Rh-Zr Mixed Oxide as a Nonhazardous Cocatalyst for Photocatalytic Hydrogen Evolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 6862-6867
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0sc01363c	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 Jindou Shi, Wanyin Ge, Jianfeng Zhu, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi	4. 巻 3
2. 論文標題 Core-Shell CsPbBr <sub>3</sub> @CdS Quantum Dots with Enhanced Stability and Photoluminescence Quantum Yields for Optoelectronic Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 7563-7571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c01204	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 E. Kobiyama, H. Tahara, R. Sato, M. Saruyama, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu	4. 巻 20
2. 論文標題 Reduction of Optical Gain Threshold in CsPbI3 Nanocrystals Achieved by Generation of Asymmetric Hot-Biexcitons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 3905-3910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c01079	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 S. Masada, T. Yamada, H. Tahara, H. Hirori, M. Saruyama, T. Kawawaki, R. Sato, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu	4. 巻 20
2. 論文標題 Effect of A-site Cation on Photoluminescence Spectra of Single Lead Bromide Perovskite Nanocrystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 4022-4028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c01417	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 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 YAN XIA, MASAKI SARUYAMA, TOSHIHARU TERANISHI
2. 発表標題 Cation exchange reactions of ionic nanocrystal superlattices
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 朱 凌愷, 猿山 雅亮, 寺西 利治
2. 発表標題 Agコロイド結晶のone-pot合成
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 猿山 雅亮, 寺西 利治
2. 発表標題 ナノ粒子三次元超格子の構造異方性制御
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田原弘量, 山田琢允, 猿山雅亮, 佐藤良太, 寺西利治, 金光義彦
2. 発表標題 ハライドペロブスカイトナノキューブ超格子の光学応答
3. 学会等名 日本物理学2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田琢允, 田原弘量, 猿山雅亮, 寺西利治, 金光義彦
2. 発表標題 半導体ナノディスク超格子の非線形光学応答
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田 琢允, 田原 弘量, 猿山 雅亮, 寺西 利治, 金光 義彦
2. 発表標題 Cu <sub>2</sub> -xSナノディスク超格子の偏光依存光学応答
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhu Lingkai, 猿山雅亮, 寺西利治
2. 発表標題 Agコロイド結晶のone-pot合成
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 猿山雅亮, 寺西利治
2. 発表標題 ナノ粒子三次元超格子の構造異方性制御
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 猿山雅亮, Christian Mark Pelicano, 寺西利治
2. 発表標題 光触媒活性における PtRuナノ粒子助触媒の合金効果
3. 学会等名 ナノ学会第20回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Christian Mark Peilcano, 猿山 雅亮, 寺西 利治
2. 発表標題 水分解光触媒用PtRu合金ナノ粒子助触媒の開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 YAN XIA; MASAKI SARUYAMA; TOSHIHARU TERANISHI
2. 発表標題 Cation exchange reactions of ionic nanocrystal superlattices
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 朱 凌愷; 猿山 雅亮; 寺西 利治
2. 発表標題 Agコロイド結晶のone-pot合成
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 猿山 雅亮; 寺西 利治
2. 発表標題 ナノ粒子三次元超格子の構造異方性制御
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zhu Lingkai; 猿山雅亮; 寺西利治
2. 発表標題 Agコロイド結晶のone-pot合成
3. 学会等名 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 猿山雅亮; 寺西利治
2. 発表標題 ナノ粒子三次元超格子の構造異方性制御
3. 学会等名 第73回コロナおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 猿山雅亮; Christian Mark Pelicano; 寺西利治
2. 発表標題 光触媒活性における PtRuナノ粒子助触媒の合金効果
3. 学会等名 ナノ学会第20回大会
4. 発表年 2022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 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 ZHANZHAO LI, Masaki Saruyama, Toshiharu Teranishi
2. 発表標題 Shape memory behaviour of Cu <sub>1.8</sub> S nanoparticles during cation exchange reaction
3. 学会等名 日本化学会第101年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 猿山 雅亮, 中川 芙美子, 高畑 遼, 佐藤 良太, 寺西 利治
2. 発表標題 硫化銅ナノ粒子成長過程におけるナノ粒子超構造体の自発形成と配列構造の動的変化
3. 学会等名 日本化学会第101年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川 芙美子, 猿山 雅亮, 寺西 利治
2. 発表標題 ニッケルナノ粒子の液相中自己集合による超構造体の形成
3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川芙美子, 猿山雅亮, 寺西利治
2. 発表標題 ニッケルナノ粒子の液相中自己集合による超構造体の形成
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

イオン性ナノ結晶の陽イオン交換における結晶構造変化決定因子を発見  
<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-07-16>  
所属研究室HP  
<https://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~teranisi/>

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

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