

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2019～2022
課題番号：19K05398
研究課題名(和文) 界面活性剤を含まないナフトロシアニンナノ粒子の作製と光音響イメージングへの応用

研究課題名(英文) Preparation of surfactant-free naphthalocyanine nanoparticles and their application to photoacoustic imaging

研究代表者
和田 裕之 (Wada, Hiroyuki)
東京工業大学・物質理工学院・准教授

研究者番号：00422527
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：高い近赤外光の吸収特性と生体親和性をもつナフトロシアニン系ナノ粒子であるシリコンナフトロシアニン、銅ナフトロシアニン、塩化アルミニウムナフトロシアニン等を液中レーザーアブレーション法でナノ粒子分散水溶液として作製し、光音響信号を含む各種特性を調べた。生体利用に適する2次粒径の数百nmから数十nmものが作製可能であり、併せて、光音響イメージングのための高い光音響信号強度が得られることが分かった。特に、銅ナフトロシアニンナノ粒子等では一般的にバイオイメージングのマーカーとして使用されているインドシアニングリーンより、同濃度で高い信号強度が得られた。併せて、関連する多くの知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
これまでナフトロシアニンナノ粒子を含む多くのナノ粒子の作製においては、界面活性剤を利用してきたが、これを生体利用する場合、赤血球の溶血等の界面活性剤の生体内毒性等の問題から、実際の医工学上において課題も多かった。本研究では、界面活性剤を用いずにレーザープロセスを用いてナフトロシアニン系ナノ粒子分散数値溶液を創製する方法を確立し、その医工学応用として注目されているバイオイメージング手法の1つである光音響イメージングの信号強度の測定を行った。

研究成果の概要(英文)：Naphthalocyanine-based nanoparticles with high near-infrared light absorption and biocompatibility, such as silicon naphthalocyanine, copper naphthalocyanine, and aluminum phthalocyanine chloride, were prepared as aqueous nanoparticle solutions by laser ablation in liquid, and various properties including photoacoustic signals were investigated. It was found that secondary particle sizes of several hundred to several tens of nanometers suitable for bioavailability can be produced, and that high photoacoustic signal intensities for photoacoustic imaging can be obtained. In particular, higher signal intensity was obtained with copper naphthalocyanine nanoparticles at the same concentration than with indocyanine green, which is generally used as a marker for bioimaging. In addition, a number of related findings were obtained.

研究分野：物理化学

キーワード：有機ナノ粒子 レーザープロセス 界面活性剤フリー ナフトロシアニン フタロシアニン 光音響イメージング バイオイメージング

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究と関連した現在の問題点は、「ナフトロシアニンナノ粒子が界面活性剤を必ず含むため、医療分野での研究を進められないこと」である。

(1) ナフトロシアニンナノ粒子

近年、有機ナノ粒子が注目されていて、医療分野ではバイオイメージングやがん治療に用いる研究が進められ、エネルギー分野では太陽電池への利用が期待されている。特に、近赤外光を吸収するナフトロシアニンナノ粒子は安定で吸収波長が長いため応用が期待されている。しかしながら、従来の作製方法は、界面活性剤とナフトロシアニンを攪拌する工程等を含み下記の問題がある。

- 界面活性剤がナノ粒子から分離して生体に悪影響を及ぼす：生体は脂質二重層ため界面活性剤の混入は生体毒性を示す。例えば、赤血球を破壊して溶血を生じる。特に、生体内には各種イオンや物質が存在し、pH等の化学的環境も様々で、上記ナノ粒子が安定に存在できない。
- ナノ粒子に含まれる界面活性剤は近赤外吸収を示さないため、ナフトロシアニンの体積分率が低下するとナノ粒子の近赤外光の吸光度が低下する。このため、赤外光の吸光度が高いナフトロシアニンをナノ粒子化している意味がなくなる。

以上の理由から界面活性剤を含まないナフトロシアニンナノ粒子の作製が重要である。

(2) 光音響イメージング

バイオイメージングは生体内の病変部や物質の移動経路を知ることができるため医療分野で最も重要な手法の1つである。その中でも光音響イメージングは、注目される次世代技術の1つである。これは、物体に断続光を照射して加熱することにより膨張と収縮を繰り返して発生する超音波を複数のマイクで可視化するものである。この際、照射する断続光を近赤外光とすると、高い生体透過性から、手術により生体を切り開かずに内部を監察できる。通常、この断続光を吸収するナノ粒子をマーカーとして病変部に付けて、その病変部を可視化する。

しかしながら、マーカーとなる近赤外光吸収ナノ粒子が存在しないため、問題となっている。そこで、もしナフトロシアニンナノ粒子が作製できればこのマーカーとして利用することができる。

2. 研究の目的

本研究では上記の問題点を解決するために「ナフトロシアニンナノ粒子を水中でのレーザー照射により作製して、光音響イメージングに用いること」を目的とする。レーザー照射によるナノ粒子化が、本研究における独自性の部分である。

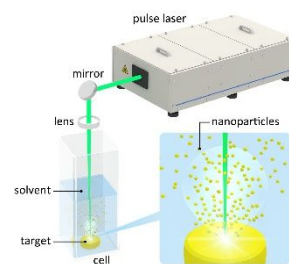


図 1. レーザー照射によるナノ粒子作製の概念図

3. 研究の方法

レーザー照射によるナノ粒子作製は、図 1¹⁾に示す様に、純水中に懸濁した原料粉末にレーザー光を照射することによりアブレーション効果でナノ粒子を創製するものである。レーザーはNd:YAGの第二高調波(波長:532 nm、パルス幅:13 ns、繰り返し周波数:10 Hz)を用いた。

4. 研究成果

高い近赤外光の吸収特性と生体親和性をもつナフトロシアニン系ナノ粒子を作製し、その特性を調べた。

塩化アルミニウムフタロシアニン：

図 2 の走査電子顕微鏡写真像(SEM)²⁾より、照射するレーザーのエネルギー密度(フルエンス)を増加させると、ミクロンサイズの原料がナノ粒子に微細化することが分かった。

図 3 の動的光散乱(DLS)²⁾の測定による凝集体の2次粒径もフルエンスの増加と共に80 nm以下まで微細化し、生体利用が可能であることが分かった。また、フタロシアニンの吸スペクトルにおけるQ帯のDavydov分裂による2つのピークの比から α 型- β 型間の結晶構造変化が示唆された。フルエンスの増加と共に吸光度も増加し、この主な理由はナノ粒子化による比表面積の増加であることが示唆された。ナノ粒子水溶液は、塩化アルミニウムフタロシアニンが疎水性であるにもかかわらず、吸光度の変化が80日以上ほとんど観察されたいという高い分散安定性が示された。これは、ナノ粒子表面の構造が関連していると考えられる。原料からナノ粒子に変換さ

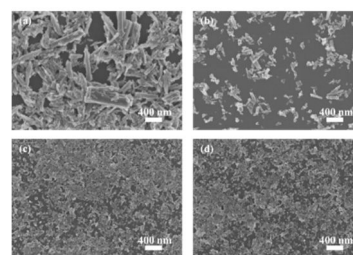


図 2. 塩化アルミニウムフタロシアニンナノ粒子のSEM写真像

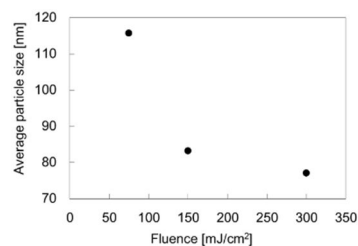


図 3. 塩化アルミニウムフタロシアニンナノ粒子の2次粒径

れる効率、通常、数%程度のものが多いが、フルエンスの増加と共に92%以上まで増加した。

シリコンナフトロシアニン：

フルエンスの増加により2次粒径を100 nm以下まで微細化させることができることが分かった。図4の吸収スペクトル、および、図5のピーク強度とピーク比の変化³⁾より、フルエンスの増加と共に吸光度が増加し、Q帯における2つのピークの比が変化したことから結晶構造の変化が示唆された。界面活性剤を含まないナフトロシアニンナノ粒子の作製と光音響イメージングへの応用に向けて重要な疎水性ナノ粒子の水溶液中での分散安定性において、80日以上吸光度が低下しないことが分かった。これはナノ粒子の表面状態が大きく関連していると思われる。また、生体適合性があり、近赤外光吸収特性が高いナフトロシアニン・ナフトロシアニン系ナノ粒子の作製と評価を行ってきて、多くの知見が得られた。生体利用の観点から、2次粒径が、肝臓のクッパ細胞への貪食がおこらない数百nm以下で、腎臓から尿としての排出が起こらない数十nm以上のものができたことは重要である。吸収スペクトルにおいては、生体の窓の領域にピークをもつナノ粒子を作製できたので、光音響イメージングにつなげることができる。

銅ナフトロシアニン：

図6のDLSによる2次粒径の経過時間変化⁴⁾から、レーザー照射時間を増加させると、1分程度の照射により電子顕微鏡観察による1次粒径と動的光散乱法による2次粒径が著しく減少し、その後は一定になることが分かり、ナノ粒子生成メカニズムの観点から大切なことが分かった。図7のラマン散乱スペクトル⁴⁾では、原料粉末と生成ナノ粒子でほとんど変化がなく、組成変化はほとんどしていないものと考えられる。これに対して、ナノ粒子分散水溶液の吸収スペクトルは、700 nmと800 nmにピークを示し、照射時間の増加とともに、生成量の増加に起因して吸収強度が増加し、2つのピークの比は減少した。また、粉末X線回折でもピークシフトが観察され、吸収スペクトルとあわせて、レーザー照射による結晶構造変化が示唆された。表1に示す様に、銅ナフトロシアニンナノ粒子の光音響信号強度は、一般的にバイオイメージングのマーカースとして使用されているインドシアニンググリーン(ICG)より、同濃度で高い信号強度が得られた。

ナフトロシアニン：

レーザーフルエンスを振って532 nmのレーザー光を照射すると、SEM観察により、レーザーフルエンスが増加すると共に微細化が進行し、柱状のミクロンサイズの原料が、1次粒径および2次粒径が数百ナノメートルから数十ナノメートルの粒子へと変化することが確認された。また、レーザーフルエンス75 mJ/cm²では、1次粒径が数百ナノメートルの球状ナノ粒子の生成が確認された。作製したナノ粒子分散水溶液の吸収スペクトル形状において、ソーレー帯とQ帯のダビドフ分裂に関して、800 nm付近の長波長側のピークはレーザーフルエンスを増加させると消失する傾向が見られ、β型からα型への結晶構造変化が示唆された。ピーク強度に関しては、フルエンスの増加と共に150 mJ/cm²までは増加したが、その後は減少傾向が観察され凝集が示唆された。ナノ粒子分散水溶液において、ナノ粒子の凝集による吸収係数の低下を用いてナノ粒子の分散安定性を評価できることから、各レーザーフルエンスでの分散安定性を評価したところ、300 mJ/cm²の高レーザーフルエンスにおいて最も安定な傾向が得られた。この原因を調べるために、ゼータ電位を測定したところ、300 mJ/cm²のレーザーフルエンスにおいて最も高い絶対値の値を得た。これは、高いレーザーフルエンスによるアブレーションの効果で生成ナノ粒子が帯電したためと考えられる。

マンガンナフトロシアニン⁵⁾：

レーザーフルエンスを振って532 nmのレーザー光を照射すると、SEM観察により微細化が進行し、柱状のミクロンサイズの原料が、1次粒径が数10 nm程度の微細ナノ粒子と数100 nm

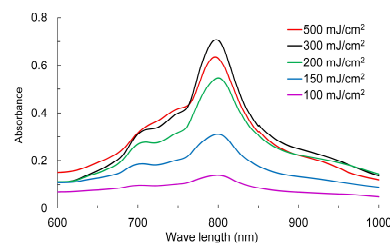


図4. シリコンナフトロシアニンナノ粒子の吸収スペクトル

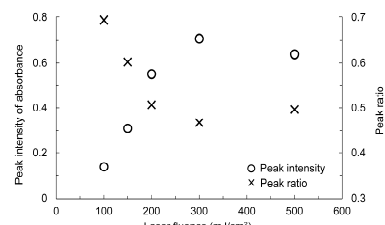


図5. シリコンナフトロシアニンナノ粒子のピーク強度とピーク比の変化

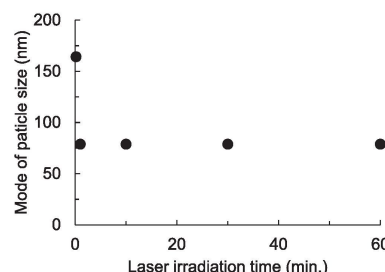


図6. 銅ナフトロシアニンナノ粒子の2次粒径のレーザー照射時間依存性

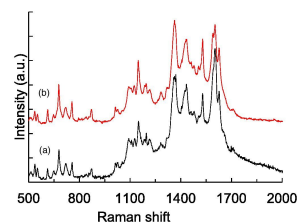


図7. 銅ナフトロシアニンナノ粒子のラマン散乱スペクトル

表1. 銅ナフトロシアニンナノ粒子の光音響信号強度

Material	Absorbance	Peak photoacoustic signal intensity (μV)
Copper naphthalocyanine nanoparticles	5.29	120
Indocyanine green	24.3	90
Deionized water	6.75×10^{-3}	20

の球状ナノ粒子が同時に作製できていることが分かった。この傾向はフルエンスを $75 \sim 300 \text{ mJ/cm}^2$ で振っても大きくは変わらなかった。2 次粒径に関しては、DLS によりフルエンスの増加と共に 150 nm 程度まで減少していくことが分かった。この粒径は、生体利用を考えると血管内滞留効果やがん細胞蓄積効果の観点から最適であると考えられる。作製したナノ粒子分散水溶液の吸収スペクトルのピークはフルエンスの増加と共に増加し、更に増加させると減少した。増加はナノ粒子生成量の増加に起因し、減少はナノ粒子生成量の増加によりナノ粒子の凝集と沈降が促進されたためと思われる。吸収スペクトルの形状では、ソーレー帯と Q 帯のダビドフ分裂に関して、フルエンスを増加させると、 α 型の結晶を示す短波長側のピークの割合が、 β 型を示す長波長側のピークの割合に比べて減少していることから、結晶が α 型から β 型に変化したと思われる。ナノ粒子分散水溶液において、ナノ粒子の凝集による吸収係数の低下を用いてナノ粒子の分散安定性を評価できることから、各レーザーフルエンスでの分散安定性を評価したところ、 300 mJ/cm^2 の高レーザーフルエンスにおいて最も安定な傾向が得られた。この原因を調べるために、ゼータ電位を測定したところ、 300 mJ/cm^2 のレーザーフルエンスにおいて最も高い絶対値の値を得た。これは、高いレーザーフルエンスによるアブレーションの効果で生成ナノ粒子が帯電したためと考えられる。

光音響イメージングのための光音響信号測定を数種類の生成ナノ粒子で行い、高い光音響信号を得た。光音響信号の強度はナノ粒子生成量に比例する傾向が観察され、今後の研究の大きな指針となった。また、生成ナノ粒子に関しても、これまでと同様に、血管内滞留時間を十分に確保でき、がん細胞へのターゲティングが可能な 2 次粒径である数十ナノメートルから数百ナノメートルのものが多く得られた。

併せて、関連する多くの知見が得られた。

参考文献

- 1) 和田 裕之, 化学と工業, 68 (2015) 137.
- 2) T. Akimori, K. Nakamura, T. Asahi, H. Wada, J. Laser Appl. 32 (2020) 022070.
- 3) K. Omura, R. Yanagihara, H. Wada, Jpn. J. Appl. Phys. 58 (2019) 128002.
- 4) K. Omura, Y. Kitamoto, M. Hara, H. Wada, Jpn. J. Appl. Phys. 61 (2022) 042001.
- 5) Y. Wang, H. Wada, submitted.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Keita Omura, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada	4. 巻 61
2. 論文標題 Optical properties of copper naphthalocyanine nanoparticles prepared by laser ablation in liquid	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 42001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac4e30	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 Yuri Tei, Haohao Wang, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada	4. 巻 16
2. 論文標題 Preparation of Gd2O3:Er,Yb nanoparticles by laser ablation in liquid and their optical properties for biomedical application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Laser Micro / Nanoengineering	6. 最初と最後の頁 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2961/jlmn.2021.02.2007	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 Kazuki Isoda, Ryuga Yanagihara, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada	4. 巻 E104-C
2. 論文標題 Preparation copper sulfide nanoparticles by laser ablation in liquid and optical properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Electronics	6. 最初と最後の頁 390-393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2020ECS6027	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 Teruki Akimori, Kentaro Nakamura, Tsuyoshi Asahi, Hiroyuki Wada	4. 巻 32
2. 論文標題 Preparation of chloroaluminium phthalocyanine nanoparticles by laser ablation in liquid and their photoacoustic imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 the Journal of Laser Applications	6. 最初と最後の頁 022070-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2351/7.0000101	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 Koro Yagi, Kazuki Mori, Osamu Odawara, Hiroyuki Wada	4. 巻 32
2. 論文標題 Preparation of spherical upconversion nanoparticles NaYF ₄ :Yb,Er by laser ablation in liquid and optical properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 the Journal of Laser Applications	6. 最初と最後の頁 022062-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2351/7.0000089	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 Rie Tanabe-Yamagishi, Yoshiro Ito, Haohao Wang, Hiroyuki Wada	4. 巻 13
2. 論文標題 Observation of photoluminescence from YVO ₄ :Eu ³⁺ nanoparticles produced in laser ablation in water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 075008-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ab9ef9	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 Omura Keita, Yanagihara Ryuga, Wada Hiroyuki	4. 巻 58
2. 論文標題 Preparation of silicon naphthalocyanine nanoparticles by laser ablation in liquid and their optical properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 128002 ~ 128002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab50cc	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 Teruki Akimori, Kentaro Nakamura, Tsuyoshi Asahi, Hiroyuki Wada	4. 巻 in press
2. 論文標題 Preparation of chloroaluminium phthalocyanine nanoparticles by laser ablation in liquid and their photoacoustic imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Laser Applications	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2351/7.0000101	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 Koro Yagi, Kazuki Mori, Osamu Odawara, Hiroyuki Wada	4. 巻 in press
2. 論文標題 Preparation of spherical upconversion nanoparticles NaYF ₄ :Yb,Er by laser ablation in liquid and optical properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Laser Applications	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2351/7.0000089	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 Kihara Ryo, Shigetaka Akari, Isshiki Tsubasa, Wada Hiroyuki, Yamamuro Saeki, Asahi Tsuyoshi	4. 巻 49
2. 論文標題 Fabrication of Magnetic -Fe ₂ O ₃ /Fe ₃ O ₄ Composite Particles by Nanosecond Laser Irradiation of -Fe ₂ O ₃ Powder in Water	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 413 ~ 415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190947	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19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Yuchun Wang, Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of phthalocyanine nanoparticles by laser ablation in liquid and application to contrast agents for photoacoustic imaging
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鄭 優莉, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーション法によるGd ₂ O ₃ :Er, Ybナノ粒子の作製と特性評価に関する研究
3. 学会等名 電子材料研究会「レーザー技術を駆使した材料生成とその制御」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuri Tei, Haohao Wang, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of Gd ₂ O ₃ :Er,Yb Upconversion Nanoparticles by Laser Ablation in Liquid and Characterization
3. 学会等名 The 1st Energy & Informatics International Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mengqi Shi, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of CeO ₂ nanoparticles by laser ablation in liquid method and the UV absorption ability
3. 学会等名 The 1st Energy & Informatics International Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Leo Adachi, Shuhei Yamada, Shun-ichi Ishiuchi, Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of Cellulose Nanofibers by Laser Irradiation and Characterization
3. 学会等名 The 1st Energy & Informatics International Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuri Tei, Haohao Wang, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of up-conversion nanoparticles by laser ablation in liquid
3. 学会等名 The 22nd International Symposium on Laser Precision Microfabrication (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mengqi Shi, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of CeO ₂ nanoparticles by laser ablation in liquid method and the UV absorption ability
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザープロセスを用いたナノ粒子作製とデバイス応用
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of Nanoparticles by Laser Process in Liquid and Their Biomedical Application
3. 学会等名 39th International Congress on Application of Lasers & Electro-optics (ICALEO) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鄭優莉, Wang Haohao, 和田裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーション法によるアップコンバージョンナノ粒子の作製と光学特性
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 鄭優莉, 北本仁孝, 原正彦, 和田裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーション法によるGd ₂ O ₃ :Er, Yb アップコンバージョンナノ粒子の作製と光学特性
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Mengqi Shi, Yoshitaka Kitamoto, Masahiko Hara, Hiroyuki Wada
2. 発表標題 Preparation of CeO ₂ nanoparticles by laser ablation in liquid and the anti-ultraviolet properties
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 渡邊 圭一, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーションによるY ₃ Al ₅ O ₁₂ :Ceナノ粒子の作製と光学特性
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 磯田 和輝, 柳原 龍河, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーション法による硫化銅ナノ粒子の作製と評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鄭 優莉, Wang Haohao, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーション法によるGd ₂ O ₃ :Er, Yb ナノ粒子の作製と光学特性
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 圭一, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーションによるYAG:Ceナノ粒子の作製と光学特性
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 児玉 裕美, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザー溶融法を利用した球状GaN粒子の作製と評価
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大村 景太, 中村 健太郎, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーション法を用いた銅ナフタロシアニンナノ粒子の作製と光音響イメージングへの応用
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋森 輝希, 和田 裕之
2. 発表標題 液中レーザーアブレーションによる塩化アルミニウムフタロシアニンナノ粒子作製の照射時間依存性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Dongshi Zhang, Hiroyuki Wada	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 35
3. 書名 Laser Ablation in Liquids for Nanomaterial Synthesis and Applications, 'Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering' edited by Koji Sugioka	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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