

令和元年5月29日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K04961

研究課題名(和文) ネオジウム添加フッ化ルテチウムを用いた真空紫外光源の高出力化に関する研究

研究課題名(英文) Improvement of Vacuum Ultraviolet Field Emission Lamp using Neodymium Ion Doped Lutetium Fluoride

研究代表者

小野 晋吾 (ONO, SHINGO)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40370126

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：電子線励起蛍光を利用した高出力真空紫外光源を実現するため、高い発光効率と高い電子線耐性を持つ Nd³⁺:LuF₃薄膜化技術を確立すること目的とし、パルスレーザー堆積法におけるフッ化物薄膜のフッ素脱離を調査し、薄膜の品質としてはより高レーザーパワーかつ低基板温度で薄膜を作製するとフッ素の脱離が発生することが確認した。成膜後の薄膜に対してアニール処理を施すことにより、薄膜の品質改善が可能であることを確認した。このようにして作製した高品質薄膜を用いて、真空紫外フィールドエミッションランプを試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体製造、表面改質や水質浄化などの応用分野において、広く実用化されている真空紫外光源は、エキシマレーザーを除けば、重水素ランプなどのガス光源のみである。このガス光源は紫外領域で広域にわたって発光し、その出力も高いが、蛍光体として気体を用いているために、大型で、寿命も短く、また高価なことが問題である。本研究で開発した真空紫外フィールドエミッションランプは従来の光源に対して、寿命、安定性、サイズなどの点において利点を持ち、実用的な真空紫外光源実現の端緒となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：For the high power vacuum ultraviolet light source using cathode luminescence, we established Nd³⁺:LuF₃ thin films fabrication scheme with high luminous efficiency and high electron beam resistance. We studied about the parameters that affect the quality of fluoride thin films fabricated through pulsed laser deposition (PLD) and investigated that higher laser power and low substrate temperature lead to the formation of fluorine defects. It was confirmed that the quality of the thin film can be improved by annealing the thin film after deposition of the films. Using the high-quality thin film, a vacuum ultraviolet field emission lamp was demonstrated.

研究分野：レーザー工学

キーワード：真空紫外光 フッ化物 薄膜 フィールドエミッション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

【真空紫外光源の現状】半導体製造、表面改質や水質浄化などの応用分野において、広く実用化されている真空紫外光源は、エキシマレーザーを除けば、重水素ランプなどのガス光源のみである。このガス光源は紫外領域で広域にわたって発光し、その出力も高いが、蛍光体として気体を用いているために、大型で、寿命も短く、また高価なことが問題である。また水銀を使用している場合には、破損時や廃棄時の処理が難しい。このような状況下において、申請者は、 KMgF_3 や $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ の固体蛍光体薄膜を用いた図 1 のような真空紫外フィールドエミッションランプの開発に成功している。本成果に関しては、米国科学雑誌「APL Materials」やニュースサイト「AIP Publishing」、「Laser Focus World」、「Sciencedaily」、日刊工業新聞などに掲載され、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム平成 25 年度六大成果最優秀賞を受賞しているほか、特許も取得している。しかし、これまでに記録した最高出力は数マイクロワットにとどまり、ガス光源にとって代わるために、高出力化は必要不可欠である。

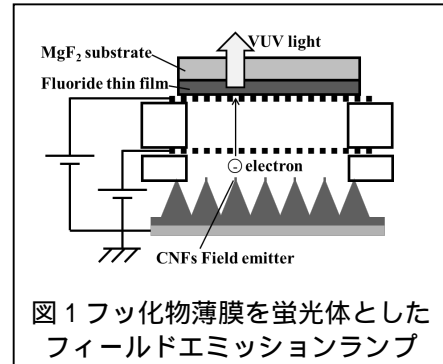


図 1 フッ化物薄膜を蛍光体としたフィールドエミッションランプ

【真空紫外領域における固体蛍光体】固体蛍光材料を用いた発光素子の短波長化研究は盛んに行われており、 AlGaIn を用いた LED や BN を蛍光体としたフィールドエミッションランプの研究が進んでいる。しかしこれらの材料を用いる限り、波長 200nm 以下の真空紫外領域で動作させることは理論上難しい。申請者はこれまでに購入可能なワイドギャップ材料を調査し、 Al_2O_3 と MgO の酸化物単結晶からも真空紫外領域での電子線励起発光を観測したが、どちらの材料も上述した KMgF_3 や $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ といったフッ化物材料よりも発光効率が二桁以上低いことを確認している。フッ化物材料の蛍光体としては、発光中心として Nd^{3+} イオンを添加した LaF_3 や LiLuF_3 などのフッ化物材料についても調査したが、最も高い発光効率を示したのは、 $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ である。

【 $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ に関する研究状況】 $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ については、申請者がナノ秒パルスレーザーを用いたパルスレーザー堆積法 (PLD 法) による薄膜化とその光学特性についての報告を行った以外には、申請者の共同研究者である東北大学の吉川グループと株式会社トクヤマが、チョクラルスキー法による単結晶成長方法の開発とそのシンチレータとしての特性評価を行ったのみであり、詳しく調べられていない。

2. 研究の目的

$\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ は、真空紫外領域における数少ない高い発光効率を示す蛍光体である。電子線励起発光を利用した高出力真空紫外光源を実現するため、 $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ の電子線照射時の劣化機構を解明し、高い発光効率と高い電子線耐性を持つ薄膜化技術を確立する。本申請における目的は下記の 2 つである。

パルスレーザー堆積法を用いた $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ のナノ粒子化による高密度薄膜作製技術の確立。

電子線照射による $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ の劣化のしくみを明らかにし、劣化の起こりにくい薄膜の開発。

第一の目的である $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ のナノ粒子化による高密度薄膜作製技術の確立には、下記の問題点がある。

$\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ は融点 (1180) よりも低い温度 (950) で六方晶から斜方晶へと構造相転移を起こす。そのため溶融法によって単結晶成長を行う場合などには、冷却過程で構造相転移による応力が発生し、結晶に亀裂が入り砕けてしまう。申請者は、PLD 法によって微粒子を堆積させることでこの応力の影響を軽減して薄膜化することに成功しているが、図 2 に示すようにドロップレットと呼ばれる数マイクロメートルを越える粒子には亀裂が入っている。そのため、堆積した薄膜の密度が低くなり、また膜厚を大きくすることができなくなる。これによって、電子線励起する場合の電子との相関領域が広がらず、発光効率を減ずる原因になっている。アブレーション粒子サイズを 1 マイクロメートル以下に制御することで、この問題を解決することができる。そのために、次の 3 方向からのアプローチを行う。1. フェムト秒パルスによるアブレーション、2. ダブルパルスによるレーザーアブレーション、3. ターゲットの真空中もしくは CF_4 ガス中での焼成による高密度化。

研究期間内にこれらの手法について精査し、フッ化物のレーザーアブレーションにおけるレーザーパルスと材料の相関を明らかにし、形状、サイズ、組成変化、欠陥密度の制御を可能にすることで、第一の目的を達する。第二の目的である電子線照射による $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ の劣化のしくみを明らかにし、劣化の起こりにくい薄膜を開発するためには、下記の問題点がある。

蛍光強度の増加には高エネルギーの電子線を照射する必要があるが、それによって $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$

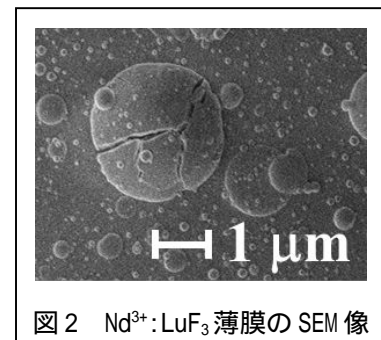


図 2 $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ 薄膜の SEM 像

の劣化が起こりやすくなる。過去に申請者は、フッ化物を用いた光センサ研究において、PLD法による CeF_3 薄膜作製時の照射レーザーパワーを大きくすることで、フッ素欠陥が多くでき、さらにこの欠陥が多い程、材料を大気中にさらした場合の表面酸化が進行することを見出している。また、大気中でここに高電界を印加した場合、酸化領域が広がることを確認している。高エネルギーの電子線を照射した場合にも、フッ素欠陥や酸化領域が起点となり、フッ素の脱離が起こりやすくなって劣化している可能性が高い。そのため、薄膜の表面及び内部の欠陥を制御し、SEM を用いて欠陥が電子線照射による劣化に与える影響を調べ、また欠陥の少ない薄膜を作製することで、第二の目的を達する。

3. 研究の方法

【ダブルパルスレーザーを用いた PLD 装置の作製】フェムト秒パルスレーザー装置を光源として、新たに PLD 装置を作製する。ナノ秒パルスよりピーク出力の高いレーザーを用いることで、アブレーション時の材料の破壊を促進する。さらに、ターゲットに照射するレーザーパルスは、図3の光学系により、ダブルパルスを発生させる。アブレーションによって材料より剥離した微粒子が、その飛散過程において衝突を繰り返し大きな粒子に成長することがある。ダブルパルスは、アブレーションを起こした直後にさらにレーザーパルス照射することで、2段階アブレーションを起こし、粒子の成長を抑制し、微細な粒子のまま基板に到達させることができる。

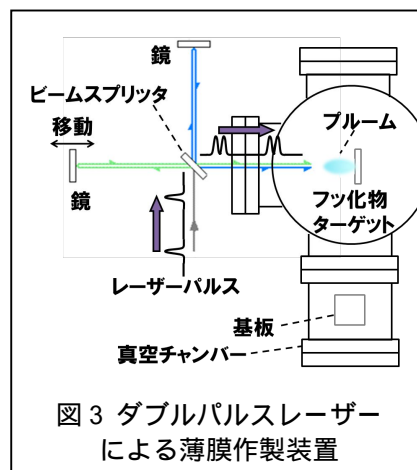


図3 ダブルパルスレーザーによる薄膜作製装置

【高品質ターゲットの作製】過去に申請者が作製した多くのフッ化物薄膜の中で、 $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ で特に密度の低い薄膜が堆積されている。そのため、電子線を照射した際、電子線の加速電圧を上げて材料内での電子との相関領域が広がりやすく、効率よく発光量を増加させることができない。そこで、高密度なターゲット作製のため、構造相転移を起こさない温度で、ターゲットの焼成を行うため、赤外線加熱真空アニール装置を購入し、 CF_4 ガスを注入できるようにする。ターゲットの作製は、不活性ガス中で NdF_3 と LuF_3 パウダーを混合・圧縮してペレットを作製し、真空中もしくは CF_4 ガス中で焼成する。

【電子線照射時のフッ素欠陥と酸化層の劣化への影響の調査】フッ素欠陥は主に薄膜作製時の照射レーザーパワーによって制御する。高出力レーザーパルス照射するほどフッ素の脱離が起こりやすくなる。薄膜の内部についても評価を行うため、FIBによる切片の切り出しとSEM、EDXによる観察を行う。これ以外に、 Nd^{3+} イオンを多量に添加することで母材である LuF_3 に歪みが発生する。そのため、これについても調査するため、ターゲットへの NdF_3 パウダーの混合比を変えたものを用いて、サンプル作製を行う。

【フィールドエミッションランプの作製】図1のようなフィールドエミッションランプを作製する。このランプで、実際に高加速電子を $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ 薄膜に照射し、その真空紫外発光強度と電子線耐性の評価を行う。

4. 研究成果

(1) パルスレーザー堆積法による高品質薄膜作製とこの薄膜を用いた真空紫外フィールドエミッションランプの作製

本研究では、フッ化物薄膜として真空紫外発光効率の高い $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ だけでなく KMgF_3 および $\text{Tm}^{3+}:\text{K}_2\text{NaLuF}_6$ の薄膜も作製し、フィールドエミッションランプ型の発光デバイスを試作した。今回、高品質薄膜作製のため、パルス幅の短いフェムト秒パルスレーザーの適用を試み、図4-1に示すような $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ 薄膜を作製した。フェムト秒パルスレーザーを用いて作製したサンプル及び、ナノパルス秒レーザーを用いて作製したサンプルの表面観察像を図4-2に示す。図4-2(b)より、ナノ秒パルスレーザーを用いて作製したサンプルでは平坦で巨大な液滴粒子（ドロップレット）が主な堆積物となって薄膜を構成していることが分かる。これは、熱影響が発生しやすいナノ秒パルスレーザーを用いているため、アブレーションの際にドロップレットが発生しやすくなったことが原因だと考察される。一方で、フェムト秒レーザーを用いて作製したサンプルはサブマイクロメートルからマイクロメートルオーダーの微粒子が堆積することで薄膜を構成しており、レーザーによる熱影響が少なく、サブマイクロメートルオーダーの微粒子により構成されていることが分かる。表面観察像より、堆積粒子を無作為に100個抽出して粒子サイズを計測したところ、堆積粒子の平均サイズは $0.29 \mu\text{m}$ であった。また、元素分析の結果、ターゲット

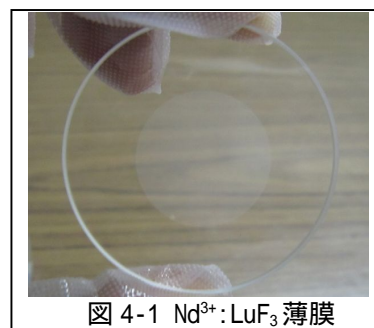


図4-1 $\text{Nd}^{3+}:\text{LuF}_3$ 薄膜

ト材料をそのまま転写できていることを確認した。

この薄膜を用いて作製した発光素子の装置外観及び、構造を図4-3に示す。電子源としてナノダイヤモンド (ND) 薄膜を用いた。ND 薄膜は一般的に電子源として用いられるダイヤモンド膜やカーボンナノチューブなどと比較して、低抵抗で電子放出効率が良く、安定性にも優れているという特徴を持つ。今回発光素子に用いた ND 薄膜はプラズマを用いた化学気相成長により成膜されており、ダイヤモンド多結晶構造を有している。電子の取り出し及び加速には電子が通過できるようにメッシュ状の Al 電極を採用している。Nd³⁺:LuF₃ 薄膜が電子により励起されるまでの過程は、まず引き出し電極 - ND 薄膜間の電界により ND 薄膜から電界放出により電子が引き出される。その後、加速電圧 - 引き出し電極間の電位差によって電子は加速され、より高いエネルギーをもって Nd³⁺:LuF₃ 薄膜に衝突する。この際のエネルギー交換により Nd³⁺:LuF₃ 薄膜が励起され発光する。

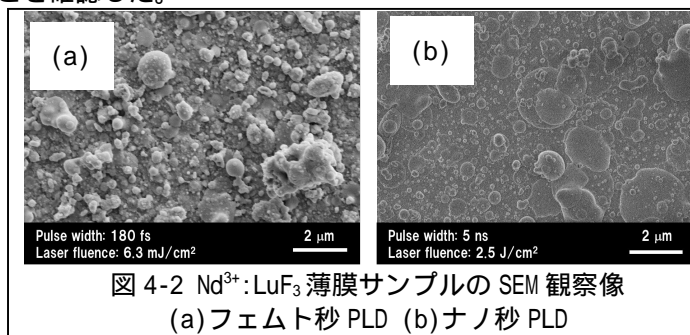


図 4-2 Nd³⁺:LuF₃ 薄膜サンプルの SEM 観察像
(a)フェムト秒 PLD (b)ナノ秒 PLD



図 4-3 発光素子外観

図 4-4 に引き出し電圧 2.0 kV における発光出力の加速電圧依存性を示す。加速電圧の増加に対して、発光出力が 3 乗に比例して上昇している。電子は薄膜に入射した際に、3 次元的に薄膜内部で拡散する。つまり、加速電圧の増加により、発光に寄与する薄膜の体積が増加するために、発光出力が 3 乗に比例して上昇していると考えられる。

本研究では KMgF₃ 薄膜および Tm³⁺:K₂NaLuF₆ の薄膜もフェムト秒パルスレーザーによって作製し、ナノ秒レーザーを用いた PLD に対して、より組成ずれのない高品質な薄膜が作製可能であることを証明した。これらの薄膜を用いて Nd³⁺:LuF₃ 薄膜の場合と同様にフィールドエミッションランプを作製し、高加速電圧領域において発光出力が 2.1µW に達する出力を得た。

以上のように、高品質フッ化物蛍光材料薄膜作製に成功し、これを用いた真空紫外領域にて動作するフィールドエミッションランプを試作した。まだ改善の余地があるものの、真空紫外領域における新しい光源として期待できることを証明した。

またこれ以外に、フッ化物微粒子の作製にも成功し、発光波長の制御を実現するとともに、フッ素欠陥および表面酸化の及ぼす影響について数多くの知見を得ることができた。この結果は、今後、フッ化物蛍光体開発における重要な役割を果たすことが期待できる。

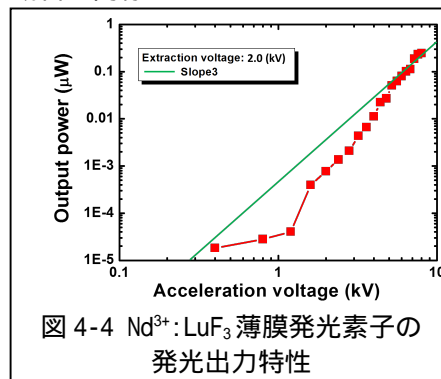


図 4-4 Nd³⁺:LuF₃ 薄膜発光素子の発光出力特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

K. Suzuki, S. Ono 他, Band gap engineering of Ca_xSr_{1-x}F₂ and its application as filterless vacuum ultraviolet photodetectors with controllable spectral responses, Opt. Mater., 査読有, 88, 2019, 576-579

X. Yu, S. Ono 他, Evaluation of Ce³⁺:LiCaAlF₆ single crystal by Multi-Photon Luminescence Measurement, Opt. Mater., 査読有, 86, 2018, 394-397

Y. Inoue, S. Ono 他, Size control and luminescence properties of Eu²⁺:LiCaAlF₆ particles prepared by femtosecond pulsed laser ablation, J. Appl. Phys., 査読有, 122, 2017, 133107

X. Yu, S. Ono 他, Carbonization of Silicon Nanoparticles via Ablation Induced by Femtosecond Laser Pulses in Hexane, Arab. J. Sci. Eng., 査読有, 42, 2017, 4221-4226

Y. Fujimoto, S. Ono 他, Opt. Mater., 査読有, 61, 2016, 115-118

S. Muramatsu, S. Ono 他, Size control and vacuum-ultraviolet fluorescence of nanosized KMgF₃ single crystals prepared using femtosecond laser pulses, Sci. Technol. Adv. Mater., 査読有, 17, 2016, 685-690

[学会発表](計42件)

- “CeF₃ 薄膜を用いた紫外光センサの真空中アニール処理による欠陥制御” 加藤 誠也、小野 晋吾 他、第66回応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学、2019年3月9-12日
- “パルスレーザー堆積法による BaF₂ 薄膜を用いた真空紫外光センサの開発” 加藤 誠也、小野 晋吾 他、第66回応用物理学会春季学術講演会、東京工業大学、2019年3月9-12日
- “作製手法の異なる CaF₂ 単結晶にドーブした Eu²⁺ 及び Eu³⁺ イオン分布の多光子蛍光計測” 伊藤 広朗、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “Ce³⁺:LiCaAlF₆ 単結晶における Ce³⁺ イオンの異なる空間分布がレーザー発振特性に与える影響” 寺川 周作、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “室温及び低温における複合フッ化物 Ca_xSr_{1-x}F₂ の光学特性評価” 鈴木 健太郎、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “フッ化セリウム薄膜のフッ素脱離が与える光センサ特性への影響” 加藤 誠也、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “GdF₃ 薄膜を用いた真空紫外光検出器の開発” 大谷 潤、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “真空紫外線照射時の CaF₂-金属界面における電気的特性” 鈴木 健太郎、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “パルスレーザー堆積法による YF₃ 薄膜作製におけるパルス幅の影響” 鈴木 健太郎、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “Ce³⁺:CaF₂ 薄膜蛍光体の作製と発光特性評価” 日紫喜 雅人、小野 晋吾 他、第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場、2018年9月18-21日
- “超短パルスレーザーを適用した計測・プロセス技術の展開” 小野 晋吾、平成30年度多元技術融合光プロセス研究会、産業技術総合研究所臨海副都心センター別館、2018年8月30日
- "Short pulsed laser ablation of fluorides and thin film," S. Ono 他, LIC2018, PACIFICO Yokohama, Japan, April 23-27, 2018, LIC4-1. (Invited)
- "Fabrication and Evaluation of Ce³⁺ Ion Doped CaF₂ Thin Film Phosphor," M. Hishiki, S. Ono 他, CLEO-PR 2018, Hong Kong, July 29-August 3, 2018, W3A.92.
- “パルスレーザー堆積法におけるレーザー出力制御及び基板温度正業による CeF₃ 薄膜のフッ素欠陥コントロール” 山崎 亮、小野 晋吾 他、レーザー学会学術講演会第38回年次大会、京都市勧業館みやこめっせ、2018年1月24-26日
- “作製手法の異なる CaF₂ 単結晶にドーブした 2 価及び 3 価の Eu イオン分布の多光子蛍光計測” 田中美帆、小野 晋吾 他、レーザー学会学術講演会第38回年次大会、京都市勧業館みやこめっせ、2018年1月24-26日
- “パルスレーザー堆積法による LaF₃ 薄膜を用いた真空紫外検出器の開発” 鈴木 健太郎、小野 晋吾 他、第78回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017年9月5-8日
- “YF₃ 薄膜を用いた真空紫外センサの粒子径制御及び応答速度” 鈴木 健太郎、小野 晋吾 他、第78回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017年9月5-8日
- “高抵抗 NdF₃ 薄膜作製のためのパルスレーザー堆積法におけるレーザーパワー制御” 山崎 亮、小野 晋吾 他、第78回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017年9月5-8日
- “CeF₃ 薄膜を用いた紫外センサのフッ素欠陥の影響” 山崎 亮、小野 晋吾 他、第78回応用物理学会秋季学術講演会、福岡国際会議場、2017年9月5-8日
- "Synthesis of Silicon Carbide Nanoparticles by Femtosecond Laser Ablation of Silicon in Hexane," X. Yu, S. Ono 他, 15th IUMRS-ICAM, Kyoto, August 27-September 1, 2017, C5-P31-004.
- ① "Fabrication of Molybdenum Carbide Nanoparticles by Femtosecond Laser Ablation of Molybdenum in Hexane," S. Terakawa, S. Ono 他, The 15th IUMRS-ICAM, Kyoto, August 27-September 1, 2017, C5-031-006.
- ② "Fabrication of THz Antireflective Structures on Silicon Substrates by Femtosecond Laser," X. Yu, S. Ono 他, 15th IUMRS-ICAM, Kyoto, August 27-September 1, 2017, B6-028-012.
- ③ "Evaluation of Optical Crystals by Multi-photon Luminescence," S. Ono 他, EMN 3CG & Metallic Glasses Meeting, Berlin, Germany, August 7-11, 2017, A06. (Invited)
- ④ "Controlling Laser Power Irradiation Of Pulsed Laser Deposition For Fabricating High Resistivity NdF₃ Thin Film," R. Yamazaki, S. Ono 他, 12th CLEO-PR, Singapore, July 31-August 4, 2017, P2-031.
- ⑤ "Difference in Distribution of Eu Ions Doped CaF₂ Single Crystal Caused By Two Types of Grown Method By Measurement Of Multiphoton Luminescence," M. Tanaka, S. Ono 他, 12th CLEO-PR, Singapore, July 31-August 4, 2017, P1-112.
- ⑥ "Lasing Properties of Ce:LiCaAlF₆ Single Crystal On Effects Of The Distribution Of Ce Ion," M. Tanaka, S. Ono 他, 12th CLEO-PR, Singapore, July 31-August 4, 2017, 3-3H-4.
- ⑦ "Temperature Characteristic Of Ultraviolet Photoconductive Detector Based On CeF₃ Thin Film," R. Yamazaki, S. Ono 他, 12th CLEO-PR, Singapore, July 31-August 4, 2017, 3-3C-5.

- ⑳ “多光子蛍光計測による CaF₂ 単結晶にドープした Eu²⁺ および Eu³⁺ イオンの分布評価” 田中美帆、小野 晋吾 他、レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会、徳島大学、2017 年 1 月 9 日
- ㉑ “高抵抗 CeF₃ 薄膜作製のためのパルスレーザー堆積法におけるレーザーパワー出力制御” 山崎亮、小野晋吾 他、レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会、徳島大学、2017 年 1 月 9 日
- ㉒ “超短パルスレーザー加工によるテラヘルツ帯反射防止構造の評価” ベイ ジョンソク、小野 晋吾 他、第 77 回応用物理学会秋季学術講演会、新潟朱鷺メッセ、2016 年 9 月 16 日
- ㉓ "Evaluation of Scintillator Single Crystal by Multi-photon Luminescence and LA-ICPMS," S. Ono 他, 12th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-XII), Changsa, China, October 14-19, 2016, IL32-J. (Invited)
- ㉔ "Filterless vacuum ultraviolet photodetector based on fuloride thin films," S. Ono 他, 3CG 2016, Spain, September 4-8, 2016, C20. (Invited)
- ㉕ "Optical Property of Compound Fluoride Materials Ca_xSr_{1-x}F₂ at Low Temperature," R. Yamazaki, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0873.
- ㉖ "Controlling Electric Resistivity of CeF₃ Thin Film Fabricated by Pulse Laser Deposition," R. Yamazaki, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0868.
- ㉗ "Ce³⁺ Ion Mapping in LiCaAlF₆ Single Crystal by Multi-Photon Luminescence and LA-ICPMS," M. Tanaka, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0567.
- ㉘ "Optical and Scintillation Properties of Eu Doped CaF₂ Single Crystal," M. Tanaka, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0225.
- ㉙ "Deposition of High Quality KMgF₃ Thin Films Prepared by Femtosecond Laser Pulses," S. Muramatsu, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0615.
- ㉚ "Optical and Structural Properties of Nd³⁺:LuF₃ Thin Film Prepared by Femtosecond Laser Pulse Deposition," S. Muramatsu, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0613.
- ㉛ "Vacuum Ultraviolet Field Emission Lamp Based on Tm³⁺:K₂NaLuF₆ Thin Film as Phosphor," S. Muramatsu, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0283.
- ㉜ "Fabrication of Silicon Carbide Nanoparticles by Femtosecond Laser Ablation of Silicon in Hexane," S. Hayashi, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0550.
- ㉝ "Development of Photoconductive Detector Based on LaF₃ Thin Film and Evaluation of Time Resolve," S. Otani, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, M-D2-Poster-26, ICEM16-A-0906.
- ㉞ "Filterless Vacuum Ultraviolet Photoconductive Detector Based on CaF₂ Thin Film Prepared by Pulsed Laser Deposition," S. Otani, S. Ono 他, IUMRS-ICEM, Singapore, July 4-8, 2016, ICEM16-A-0905.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://ono-lab.web.nitech.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：吉川 彰

ローマ字氏名：YOSHIKAWA AKIRA

研究協力者氏名：黒澤 俊介

ローマ字氏名：KUROSAWA SHUNSUKE

研究協力者氏名：加瀬 征彦

ローマ字氏名：KASE MASAHIKO

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、研究者個人に帰属されます。