

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04658

研究課題名（和文）可視シリカファイバレーザの高出力化を阻害するフォトダークニングの機構解明

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanism of photodarkening that hinders high output of visible silica fiber lasers

研究代表者

齋藤 和也（Saito, Kazuya）

豊田工業大学・工学部・教授

研究者番号：20278394

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：青色LDを励起源とした高出力・可視シリカファイバレーザの開発は、赤外ファイバレーザでは加工が難しい銅などの赤外吸収の少ない金属を加工するために渴望されている。しかしながら、可視シリカファイバレーザの実用化には、フォトダークニング抑制という非常に困難な課題がある。フォトダークニングとは、励起レーザにより欠陥が生成する現象で、生成した欠陥による吸収増加でレーザ発振が阻害される。本研究では、Dy添加シリカファイバにおけるフォトダークニング機構を解明し、フォトダークニング抑制に有効な共添加物を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高出力可視加工用レーザの候補であるDy添加黄色シリカファイバレーザの実用化に向けた課題解決を行った。具体的にはフォトダークニングの機構解明と抑制法の開発を行った。これらの研究は、欠陥構造の生成機構解明という学術的意義があるにとどまらず、高出力可視ファイバレーザの実用化に向けた突破口を開くもので、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：The development of a high-power, visible silica fiber laser using a blue LD as an excitation source is highly desirable for processing metals with low infrared absorption, such as copper, which is difficult to process with infrared fiber lasers. However, the practical application of visible silica fiber lasers faces the extremely difficult task of suppressing photodarkening. Photodarkening is a phenomenon in which defects are generated by the excitation laser, and the increased absorption caused by the generated defects inhibits laser oscillation. In this study, we clarified the photodarkening mechanism in Dy-doped silica fiber and identified co-doping agents that are effective in suppressing photodarkening.

研究分野：材料工学 無機材料および物性関連

キーワード：ファイバレーザ ファイバンプ シリカガラス フォトダークニング

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 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Yb 添加シリカファイバレーザは加工用に広く普及しているが、発振波長が 975 ~ 1130nm であるため、この波長領域で吸収が少ない銅を加工することが困難である。このため、ファイバレーザの発振波長をより短波長にする試みが多くなされてきた。最近、450nmLD の発振出力が急増しており、450nmLD を励起源とする可視ファイバレーザの開発が活発化している。我々は、スロープ効率 22%、出力 110mW を越える可視シリカファイバレーザの開発に初めて成功したが、実用化には“フォトダークニング抑制”という非常に困難な課題がある。フォトダークニングとは、励起レーザにより欠陥が生成する現象で、レーザ発振を阻害する吸収が増加する。希土類添加シリカガラスにおけるフォトダークニングの発生機構、および抑制法の開発は Yb 添加シリカファイバ (励起 915 ~ 975nmLD) で活発に行われてきたが、450nmLD 励起では、励起光のエネルギーが強いために、フォトダークニングを抑制することは非常に難しい状況にあった。

2. 研究の目的

本研究では、「高出力・可視シリカファイバレーザの実用化」に必須の基礎的研究として、「可視シリカファイバレーザの高出力化を阻害するフォトダークニングの機構解明」を目的とする。

3. 研究の方法

- (1) Dy 添加シリカガラス/ファイバにおいて、共添加元素 (Al, P, Ge, F, B, Ce) による PD 抑制効果を明らかにする。
- (2) Dy 添加シリカガラス/ファイバにおける、X 線誘起および青色 LD 誘起 PD の発生機構を明らかにする。
- (3) Dy 添加シリカファイバレーザの発振特性、および PD 特性を明らかにし、高出力黄色ファイバレーザの実用化に資するガラス組成を開発する。

4. 研究成果

- (1) DyAl 添加シリカガラス/ファイバにおいて、Ge 共添加による発振効率向上効果および PD 抑制効果を明らかにした。最適 Ge 濃度において、スロープ効率 22.0% を達成した。しかしながら、6 時間で 20% 程度まで出力が減少してしまうことから、実用化のためにはさらなる PD 抑制法の開発が必要である。

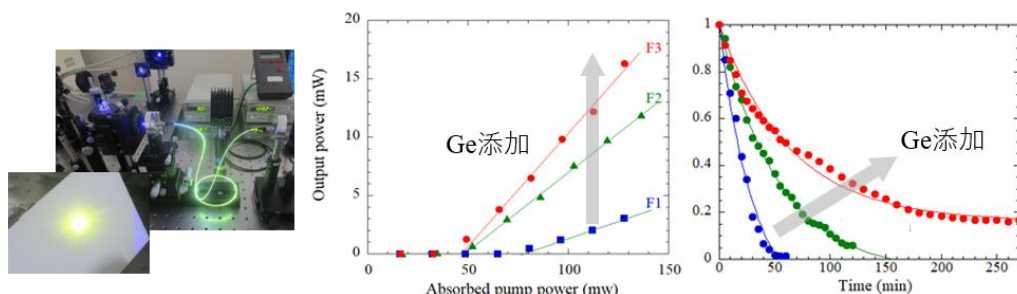


図 1 : Dy 添加シリカファイバレーザ (a)、Ge 添加による効率向上 (b) および PD 抑制効果 (c)

- (2) DyAl 添加シリカガラスにおける Ge 共添加による X 線誘起 PD 抑制効果を調べた結

果、Ge 関連欠陥が Al 関連欠陥および Dy²⁺より生成しやすく、また安定であることを明らかにし、PD 生成機構および Dy 周辺の局所構造モデルを提案した。

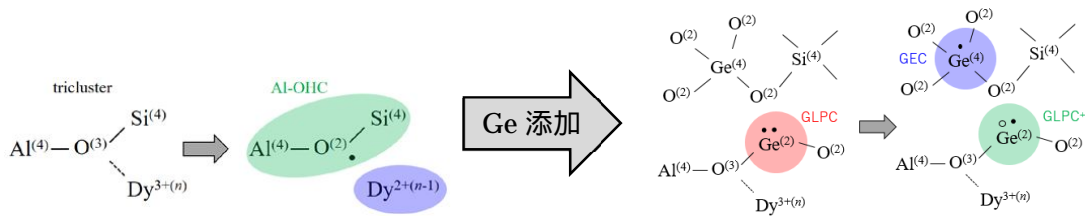


図 2 : Ge 共添加による Dy 周辺構造の変化

(3) DyAlGe 添加シリカガラスにおける X 線誘起 PD と 450nm LD 誘起 PD の機構の違いを明らかにした。この結果、DyAlGe 添加シリカファイバレーザーにおいて、Ge による PD 抑制効果がある Ge 濃度で飽和してしまう原因が明らかになった。

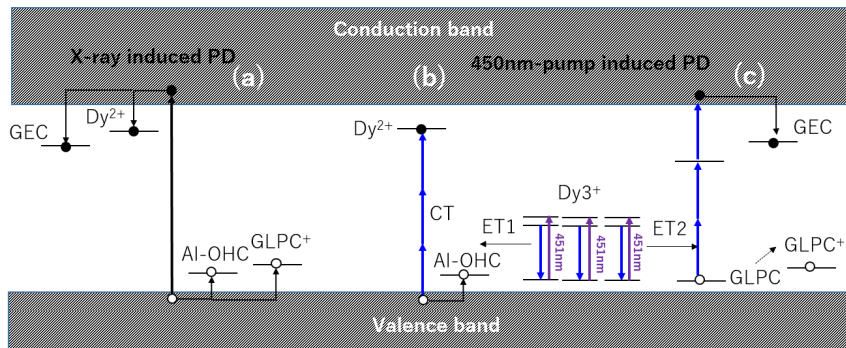


図 3 : DyAlGe 添加シリカガラスにおける X 線誘起 PD と 450 nm 誘起 PD の機構の違い

(4) Dy 添加シリカガラス/ファイバにおいて、P 共添加による PD 抑制効果を明らかにした。X 線誘起 PD の抑制効果は非常に大きいものの、450nm LD 誘起 PD の抑制効果は著しく小さい。この原因は、現在のところ未解明である。

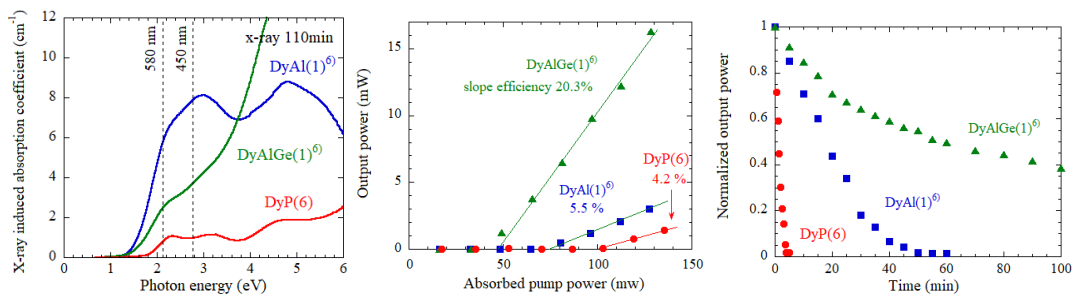


図 4 : DyP 添加シリカガラスの X 線誘起 PD 抑制効果(a), レーザー発振およびその出力変化(b,d)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Okazaki Tomoya, Fujigaki Yuma, Sekiya Edson Haruhico, Kawai Kota, Mizusaki Masato, Kanbayashi Yuta, Saito Kazuya	4. 巻 61
2. 論文標題 Effects of P co-doping on X-ray/450 nm LD induced photodarkening in Dy ³⁺ doped silica glass and fiber laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 060911 ~ 060911
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac6fa4	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 Tomoya Okazaki, Chiaki Otsuka, Edson H. Sekiya, Kota Kawai, Masato Mizusaki, Yuta Kanbayashi, and Kazuya Saito	4. 巻 15
2. 論文標題 Diode pumped visible Dy ³⁺ -doped silica fiber laser: Ge-co-doping effects on lasing efficiency and photodarkening	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 012002-1 ~ 4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/ac3d1d	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 Tomoya Okazaki, Kota Kawai, Chiaki Otsuka, Takehiro Mori, Yota Saeki, Edson Haruhico Sekiya, and Kazuya Saito	4. 巻 61
2. 論文標題 Ge-codoping effect on X-ray-induced photodarkening in Al-doped and Dy-Al-doped silica glass	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 032002-1 ~ 9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ac4d02	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 Okazaki T., Kawai K., Otsuka C., Sekiya E. H., Kanbayashi Y., Mizusaki M., Saito K.	4. 巻 62
2. 論文標題 Difference between X-ray-induced and 451 nm LD-induced photodarkening in DyAlGe-doped silica glasses	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 042003 ~ 042003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acc8ab	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田圭吾, 齋藤和也, 是枝聡肇, 熊谷芳宏, 手塚信一郎, 松浦聡
2. 発表標題 ブリルアン散乱光を用いた分布型光ファイバセンサにおける構造緩和および応力緩和の影響
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田圭吾, 齋藤和也
2. 発表標題 Dy添加シリカガラスのB共添加効果
3. 学会等名 The 33rd Meeting on Glasses for Photonics
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長壁摩耶, 齋藤和也
2. 発表標題 Ge添加シリカガラスにおける紫外線誘起欠陥の熱アニーリング
3. 学会等名 The 33rd Meeting on Glasses for Photonics
4. 発表年 2023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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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