

令和元年9月2日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06329

研究課題名(和文) 歯科治療用Er:YAGレーザー対応高機能超細径伝送装置の高効率製法

研究課題名(英文) Fabrication of ultra-thin infrared optical fibers for Er:YAG laser light

研究代表者

岩井 克全 (Iwai, Katsumasa)

仙台高等専門学校・総合工学科・准教授

研究者番号：10361130

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)：歯科根管治療において、根管を整形するためにリーマーと呼ばれる外径160 μm の刃物が用いられているが、根管の湾曲が強くと折れたり、菌血症を生じるという問題がある。そこで、硬組織を切削でき、滅菌効果もあるEr:YAGレーザーを用いた根管治療を提案する。これまで中空ファイバの研究を行い、その可能性を示してきた。本研究では、実用化レベルの製法開発を目的として、簡易な新手法を用いて、Er:YAGレーザー光を伝送可能な内径75 μm 、外径150 μm 、長さ30 mmの超細径中空ファイバを製作し、その先端部を封止加工することにより、根管内で使用可能な先端封止素子一体型超細径中空ファイバの開発を行う。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超細径中空ファイバは、器具の安全性を高め、複雑な湾曲根管治療への応用が期待される。Er:YAGレーザー光は殺菌機能を有しており、効率よく短時間での治療につながる。Er:YAGレーザー装置として、導光効率を犠牲にした充実型ファイバが歯科レーザー治療に用いられているが、中空ファイバ型先端素子を実現できれば、先端チップの導光効率を飛躍的に向上し、レーザー光源の低出力化による経済性のメリットを生じる。超細径であり、製作が容易で、低コスト、ディスプレイブルな中空ファイバ型先端素子を実現することは、レーザー医療用、極めて大きな意味を持つ。また、治療期間の短縮化、高齢者保護の上で、その社会的な効果も十分にある。

研究成果の概要(英文)：Extremely flexible hollow fibers were developed for infrared laser light delivery. The silver layer was inner-plated by using the silver plating technique. Parallel arranged bundles of silica capillaries were used to increase the cross-sectional area. Four bundles of 300 pieces of silica capillaries with an inner diameter of 75- μm , an outer diameter of 150- μm and a length of 20 cm were bundled. And the four bundles with an inner diameter of 75- μm and a length of 20 cm and three silica capillaries with an inner diameter of 530- μm and a length of 50 cm were connected in parallel to increase the flow rate. The loss for the 75- μm -bore size, 10-cm-length silver hollow fiber was 5 dB at the wavelength of 1- μm . Thin dielectric layer was formed by using liquid-phase coating method for low-loss transmission of Er:YAG laser light. And the tip end of the ultra-thin hollow fiber was heated to fabricate a tip sealing part.

研究分野：光伝送工学

キーワード：中空ファイバ 赤外レーザー光 先端機能デバイス レーザ治療

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

1. 研究開始当初の背景

国内外での関連する研究の中での当該研究の位置づけを下記に示す。

歯科領域における根管治療が注目され、その専用器具の開発として、現在、感染した部位を取り除き、充填材料が隅々にまで入るように根管を整形するためのリーマーと呼ばれる刃物の強度の向上が図られている。課題は、耐久性に優れた材質の開発である。しかし、リーマーの破損を完全になくするのは困難とされている。理由は、リーマーは往復回転運動をさせながら、歯質を削り取るため、歯の湾曲部では、高いねじれ強度が要求され、乳歯のような歯の湾曲が強い根管治療では、リーマーの破損の確率も永久歯に比較して高くなる。リーマーは使用していくと摩耗し、切削能力および強度の低下にもつながる。そのため、根管治療中、リーマーを何度も取り替える必要がある。折れてしまったリーマーが歯内に入ったままという問題もある。また、根管の治療は目で見にくい細かい管の汚れをとり、消毒していくため、肉眼では限界があり、その病変部を取り残してしまうと痛みが治らない。抗菌薬には副作用の問題もある。これまでのレーザ治療の研究において、水成分によく吸収される Er:YAG レーザ光は、医療の各診療科目で大きな可能性を秘めていることが報告されている。Er:YAG レーザ光は、歯の水分によく吸収されるため、レーザ照射により瞬間的に、歯質を効率よく切削できる。リーマーに求められる高いねじれ強度は必要なく、また器具の摩耗による切削能力の低下もない。また、最近では、Er:YAG レーザ光は滅菌作用があり、歯科治療の際に問題となる菌血症(細菌が一過性に血管に入り込むもので、歯科処置によって菌血症の頻度は高くなる)を無くす効果も期待される。申請者は、これまでの研究成果で Er:YAG レーザ光の伝送路として、内径 100 μm 以下の中空ファイバの製作を行い、超細径中空ファイバは製作出来ることを示した。本申請では、低コストで簡易な超細径中空ファイバのこれまでにない新しい製作法を提案し、根管に挿入可能な内径 75 μm 、外径 150 μm 超細径中空ファイバの製作を行う。また超細径中空ファイバと先端封止素子を一体にすることで、フレキシブル性を失わずに根管内で Er:YAG レーザ光を照射可能な中空ファイバ型レーザデバイスの開発を行う。この研究は意外性もあり、また将来の新しいレーザ治療の展開に繋がる研究である。

2. 研究の目的

本研究では、以下の研究を行う。

超細径銀中空ファイバの簡易な製作法の開発

高効率レーザ伝送を行うためには、表面粗さの小さい良好な銀膜の成膜が重要である。平成 20 年度～平成 22 年度厚生労働科学研究費で実施した研究成果で、内径 100 μm 、外径 170 μm の市販の石英ガラスキャピラリチューブ内面に銀鏡反応を用い、長さ 50 cm 程度の超細径銀中空ファイバを製作し、内径 100 μm 超細径銀中空ファイバの製作条件を明らかにした。この研究成果を基にして新製作法を検討し、内径 75 μm 石英ガラスキャピラリチューブ内面に平滑な銀膜を銀鏡反応で成膜する。

超細径光学膜(ヨウ化銀)内装銀中空ファイバの製作

低損失化用光学膜(ヨウ化銀膜)内装 Er:YAG レーザ用超細径中空ファイバの製作を図る。

内径 75 μm 超細径先端封止素子一体型

中空ファイバの製作

超細径中空ファイバの先端を封止した先端封止素子一体型超細径中空ファイバの製作を図る。

内径 75 μm 超細径先端封止素子一体型中空ファイバの伝送特性の評価

中空ファイバ型テーパ状入射デバイスを製作し、超細径中空ファイバの入射系の構築を行い、Er:YAG レーザ光と可視パイロット光の伝送特性の評価を行う。

3. 研究の方法

研究方法を下記に示す。

超細径銀中空ファイバの簡易な製作法の開発

課題として、石英ガラスキャピラリチューブの内径が細くなると銀鏡反応の流量は減り、内面に粗い銀が成膜される。そこで内径 75 μm 石英ガラスキャピラリチューブを 300 本束ねたバンドルを製作し、断面積を大きくすることで、流量の増加を行う。1 束(長さ 50 cm)の流量は約 3 ml/min 程度である。流量は、これまでの銀中空ファイバの製作条件から 30 ml/min 以上を目標とする。内径 100 μm 以下銀中空ファイバの製作条件を基にすると、32 束のバンドルを並列に接続することで、目標流量を達成できると予想されるが、バンドル製作に 1 年程度を要する。そこで、内径 75 μm バンドル 1 束(長さ 20 cm)に内径 250~700 μm 、長さ 0.5~5 m のダミーチューブを並列に接続する新手法を提案する。簡易な銀鏡反応装置を用い、低損失な内径 75 μm 銀中空ファイバの効率よい製作法について検討を行う。

超細径光学膜(ヨウ化銀)内装銀中空ファイバの製作

これまでの研究成果で内径 100 μm 、外径 170 μm 、長さ 20 cm の超細径銀中空ファイバに、液相法を用いて、低損失化用光学ポリマーである環状オレフィンポリマー(COP)を膜厚 0.1 μm で内装した Nd:YAG レーザ用中空ファイバを製作した。目標の内径 75 μm 、外径 150 μm 、長さ 30 mm で、光学膜材料をヨウ化銀にして、Er:YAG レーザ用超細径中空ファイバの製作を図る。

内径 75 μm 超細径先端封止素子一体型中空ファイバの製作

内径 75 μm 、外径 150 μm の先端素子一体型中空ファイバの製作を図る。酸素ガスバーナー(3000)を用いて、先端部の封止を行う。効率よく超細径先端素子一体型中空ファイバを製作

するために、局所的なアーク放電による先端封止についても検討を行う。

内径 75 μm 超細径先端封止素子一体型中空ファイバの伝送特性の評価

中空ファイバ型テーパ状入射デバイスを用い、超細径中空ファイバの入射系を構築する。

Er:YAG レーザ装置からの光は現在、標準化されている内径 700 μm の中空ファイバを使用する必要があるため、内径 75 μm 中空ファイバへの入射効率を高めるために、テーパ状入射デバイスの製作を図る。

4. 研究成果

銀膜の形成は銀鏡反応により行う。中空ファイバの内径が細くなると、銀鏡反応溶液の流速が低下し、ファイバ内面には粗い銀膜が形成される。そこで、(1) 前処理として SnCl_2 溶液を用いることにより、石英ガラスチューブに銀が付着する速度を飛躍的に速くし、短時間での膜形成を行う。(2) 石英ガラスチューブ (内径 75 μm , 外径 150 μm , 長さ 20 cm) を 300 本束ねたバンドルを製作し、断面積を大きくすることで、流量の増加を行った。流量については、これまで製作した内径 320 μm 銀中空ファイバの製作条件から、10 ml/min 以上を目標とする。図 1 に内径 75 μm 石英ガラスチューブのバンドルを示す。内径 3 mm 以上のシリコンチューブを用いてバンドルにすると、溶液が流れない石英ガラスチューブがあったため、断面積を大きくするには限界がある。そこで、製作したバンドルを並列に接続していくことで、溶液の流れを速くし、良好な銀膜の成膜を行う。図 2 に内径 75 μm 石英ガラスチューブ数に対する流量を示す。長さ 20 cm の石英ガラスチューブを 300 本束ねたバンドル 1 本では、流量 8 ml/min であった。そのバンドル 16 本 (石英ガラスチューブ総数 4800 本) を並列接続することで、流量 60 ml/min と流量を大幅に増加することができた。しかし、16 束のバンドル (4800 本の石英ガラスチューブ) を用いるため、バンドルの製作時間とコストがかかる。

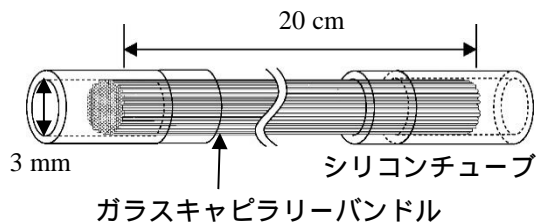


図 1 石英ガラスチューブのバンドル

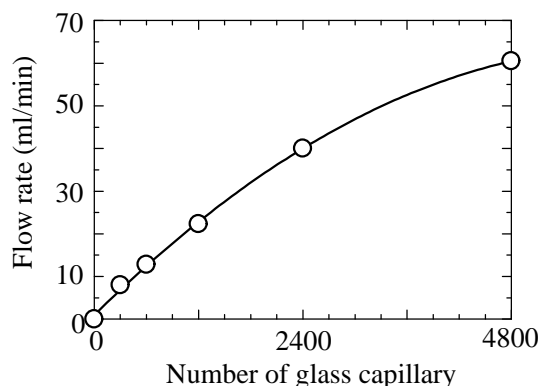


図 2 内径 75 μm 、長さ 20 cm 石英ガラスチューブ数に対する流量

そこで、内径 530 μm の石英ガラスチューブを用意し、その長さに対する流量を測定したところ、長さ 50 cm で、流量は 20 ml/min 程度となり、内径 75 μm の石英ガラスチューブを用いたバンドル 4 束を並列に接続したときと同程度の流量になることが分かった。従来法では、すべて同じ内径の石英ガラスチューブをバンドルにして、それを並列接続することで流量の増加を図ってきた。提案手法では、内径 75 μm の石英ガラスチューブを用いたバンドル 4 束と内径 530 μm の石英ガラスチューブを並列に接続していくことで、流量の増加を行う。この新手法は、コストと製作期間を大幅に低減でき、超細径銀中空ファイバの簡易な製作技術として有効と思われる。図 3 に、銀鏡反応を用いた内径 75 μm 銀中空ファイバの製作装置を示す。銀鏡反応の前処理液として SnCl_2 溶液を用い、真空ポンプにより、銀液と還元液を吸い上げ、ミキサー部で混合させた溶液をバンドルに流し、内面に銀を成膜する。溶液温度は 18 $^{\circ}\text{C}$ である。銀鏡反応後に後洗浄 (蒸留水 3 分間、エタノール 1 分間流す) を行い、その後、窒素を流しながら室温乾燥を 30 分間行った。提案手法による銀中空ファイバの伝送特性を評価するため、2 種類の装置で銀鏡反応を行った。Method 1 は、内径 75 μm 、長さ 20 cm の石英ガラスキャピラリーチューブを 300 本束ねたバンドル 16 本 (石英ガラスチューブ総数 4800 本) を並列接続した装置で銀鏡反応を行い、銀鏡反応時間は 3 分 15 秒とした。Method 2 は、内径 75 μm 、長さ 20 cm の石英ガラスチューブを 300 本束ねたバンドルを 4 本 (石英ガラスチューブ総数 1200 本) と内径 530 μm 、長さ 50 cm のガラスキャピラリー 3 本を並列接続した装置で銀鏡反応を行い、銀鏡反応時間は 3 分 15 秒とした。図 4 に、Method 1 を用いて、銀鏡反応の流量 60 ml/min で製作した内径 75 μm 銀中空ファイバ (長さ 10 cm、10 本) の可視-近赤外の損失波長スペクトル (FWHM10.6 $^{\circ}$ のガウスビームで励振) を示す。波長 1 μm において、最も低損失なファイバは、4.3 dB となった。ファイバの損失値に、ばらつきがあることが分かる。これは、バンドル形成の際、端面を揃える事が困難であり、溶液の流れ易さがファイバで異なったためと思われる。図 5 は、Method 2 を用いて、流量 50 ml/min の条件で製作した銀中空ファイバ (長さ 10 cm、10 本) の可視-近赤外の損失波長特性 (FWHM10.6 $^{\circ}$ のガウスビームで励振) で、波長 1 μm において、4.8 ~ 9.3 dB となり、最大値と最小値の差が約 4 dB となった。波長 1 μm において、低損失なファイバは、約 4.8 dB であり、Method 2 を用いても、十分低損失なファイバを製作することが分かった。

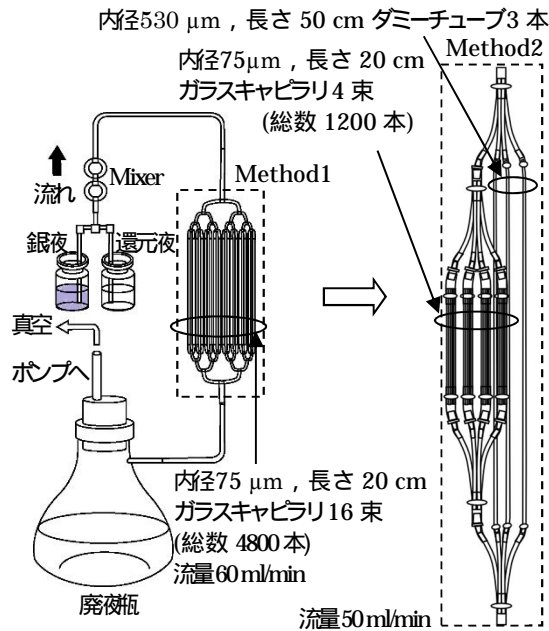


図3 内径 75 μm 銀中空ファイバの製作装置

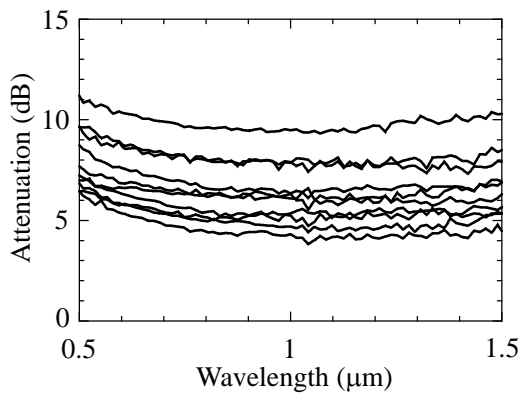


図4 Method 1 を用いた内径 75 μm 銀中空ファイバ (長さ 10 cm) の可視-近赤外の損失波長特性 (FWHM 10.6° のガウスビームで励振)

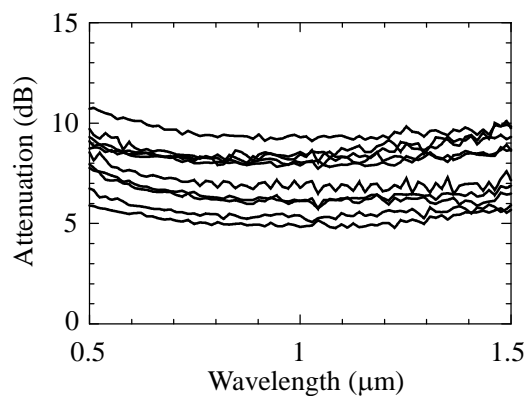


図5 Method 2 を用いた内径 75 μm 銀中空ファイバ (長さ 10 cm) の可視-近赤外の損失波長特性 (FWHM 10.6° のガウスビームで励振)

プラスチックチューブあるいは石英ガラスチューブ内に一度銀膜を形成し、その後、ヨウ素 (I_2) を含む溶液を流し、ヨウ化銀 (AgI) の誘電体膜を形成する手法が開発されている。この手法を用いて、 AgI 膜厚を制御し、 CO_2 レーザ光 (発振波長 $10.6 \mu\text{m}$)、 $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ光 (発振波長 $2.94 \mu\text{m}$) を伝送する内径 $250 \mu\text{m} \sim 700 \mu\text{m}$ のヨウ化銀内装銀中空ファイバが製作されている。銀層をヨウ化銀に変えて光学膜を形成する方法は、非常に有効な方法で、特性も良好な中空ファイバが得られている。ヨウ素 (粒) の溶剤にエタノールを用い、超音波 (40 kHz) 照射と攪拌を 10 分程度行い、 $0.5 \text{ wt}\%$ のヨウ素液を作成した。図 6 に AgI 膜のコーティング装置を示す。真空ポンプにより、ヨウ素液を吸い上げ、内径 $75 \mu\text{m}$ 、長さ 20 cm の銀中空ファイバを 300 本束ねたバンドルにヨウ素溶液を流し、 AgI 膜を形成する。ヨウ素液の反応時間は、約 20 秒である。図 7 に、製作した内径 $75 \mu\text{m}$ AgI 内装銀中空ファイバの損失波長特性を示す。明確な干渉ピークが現れており、銀中空ファイバ内面に、 AgI 層を形成できていることを示している。 AgI 膜厚は、約 $0.13 \mu\text{m}$ であり、 $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ用の最適膜厚 $0.22 \mu\text{m}$ より膜厚は薄くなったが、銀中空ファイバより充分低損失に $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ光を伝送できると思われる。酸素ガスバーナー (3000°C) を用いて、先端部の封止を行い、超細径先端素子一体型中空ファイバを製作した。局所的なアーク放電による先端封止についても行ったが、先端ガラス厚の調整が難しい。よって、酸素ガスバーナーを選択した。図 8 に製作した超細径先端素子一体型中空ファイバを示す。先端ガラス厚は、約 $70 \mu\text{m}$ である。先端ガラス部における $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ光の吸収損失は約 0.04 dB である。ガラス部の長さは約 4 mm である。 $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ装置からの光を内径 $75 \mu\text{m}$ 中空ファイバへ入射するために、テーパ状入射デバイスの製作を行った。図 9 にテーパ型入射結合器を示す。入射側は、内径 $700 \mu\text{m}$ で出射側は内径 $75 \mu\text{m}$ で、テーパ部分の長さは 2 mm である。テーパ型入射結合器の $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ光伝送損失は約 3 dB である。製作した AgI 内装銀中空ファイバ (内径 $75 \mu\text{m}$ 、外径 $150 \mu\text{m}$ 、長さ 10 cm) の $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ光の伝送特性を測定した。 $\text{Er}:\text{YAG}$ レーザ光を焦点距離 48 mm の CaF_2 レンズで集光し、テーパ型入射結合器を通して、中空ファイ

パに入射する。Er:YAG レーザ光は、発振波長 2.94 μm 、繰り返し周波数 10 Hz、パルス幅 300 μs である。ガイド光として波長 650 nm の LD 光を通し、内径 75 μm 中空ファイバから赤色光出射されることを視認した。Er:YAG レーザ光の伝送損失は、約 11 dB であった。原因として、(1)テーパ型結合器と中空ファイバの結合損失が大きい、(2)テーパ型入射結合器から入射される光と中空ファイバ内壁との角度が大きくなり、伝送損失が上昇することがあると思われる。

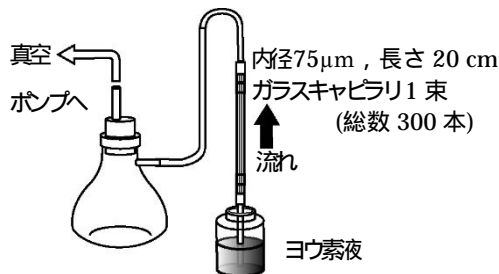


図6 AgI 膜のコーティング装置

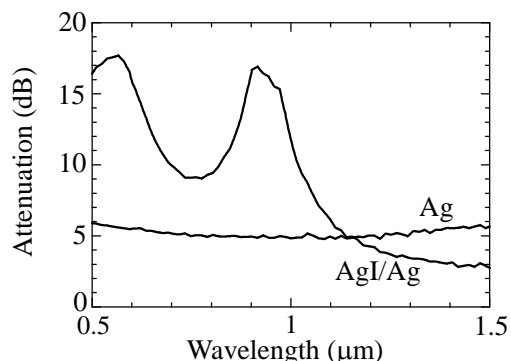


図7 AgI 内装銀中空ファイバ (内径 75 μm 、外径 150 μm 、長さ 10 cm) の波長損失特性

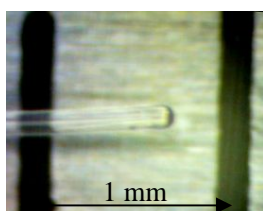


図8 内径 75 μm 超細径先端封止素子一体型中空ファイバ (内径 75 μm 、外径 150 μm 、長さ 10 cm、先端ガラス厚約 70 μm)

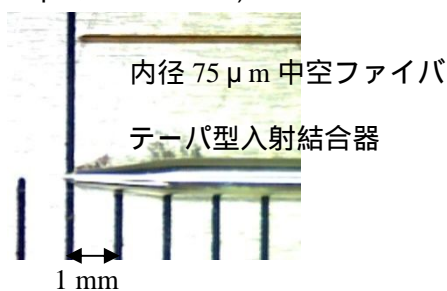


図9 テーパ型入射結合器

従来法と比べて簡易な手法を用いて、内径 75 μm 誘電体内装銀中空ファイバの製作を試みた。銀鏡反応を用いた内径 75 μm 銀中空ファイバの製作は、内径 75 μm 石英ガラスチューブを束にし、それと内径 530 μm 石英ガラスチューブを並列接続することで可能なことを確認した。銀鏡反応の流量を 50 ml/min にすることで、波長 1 μm において伝送損失約 5 dB の超細径銀中空ファイバの製作に成功した。AgI 膜の成膜を行い、波長 1.5 μm で伝送損失約 3 dB となり、Er:YAG レーザ光用として十分使用可能な内径 75 μm 中空ファイバの製作に成功した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

K. Iwai, Y. Sasaki, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, X. S. Zhu, Y. Matsuura, Fabrication of 75- μm -bore hollow optical fibers for infrared transmission, Proc. SPIE, 査読有, Vol. 10872, 2019, pp. 108720J-1-108720J-8. doi: 10.1117/12.2507432

K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi and Y. Matsuura, Fabrication of shatter-proof metal hollow-core optical fibers for endoscopic mid-infrared laser applications, Fibers, 査読有, Vol. 6, No. 24, 2018, pp. 1-8. doi:10.3390/fib6020024

K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, X. S. Zhu, Y. Matsuura, Transmission properties of dielectric-coated hollow optical fibers based on stainless tube, Proc. SPIE, 査読有, Vol. 10488, 2018, pp. 1048804-1-1048804-8. doi:10.1117/12.2286807

A. Seki, K. Iwai, T. Katagiri, and Y. Matsuura, Sensitivity improvement of optical fiber acoustic probe for all-optical photoacoustic imaging system, Applied Physics Express, 査読有, Vol. 10, 2017, pp. 072503-1-072503-4.

K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, and Y. Matsuura, Improvement of transmission properties of visible pilot beam for polymer-coated silver hollow fibers with acrylic silicone resin as buffer layer for sturdy structure, RIEC and IEEJ International Workshop on Biomedical Optics 2017, OQD-17-13, 査読有, Vol. 1, 2017, pp. 47-50.

K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, and Y. Matsuura, Improvement of transmission properties of visible pilot beam for polymer-coated silver hollow fibers with acrylic silicone resin as buffer layer for sturdy structure, Proc. SPIE, 査読有, Vol. 10058, 2017, pp. 1-8.

DOI:10.1117/12.2249749

岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、石 芸尉、ステンレスチューブを母材とする銀中空ファイバの可視光伝送特性の改善、レーザー研究、査読有、44 巻、10 号、2016、pp. 684-687. ISSN 0387-0200

[学会発表](計 14 件)

K. Iwai, Y. Sasaki, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, X. S. Zhu, Y. Matsuura, Fabrication of 75- μ m-bore hollow optical fibers for infrared transmission, Photonics West 2019, 2019. 2. 2, The Moscone Center San Francisco, California, (USA).

岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、Ni-Ti チューブを用いた銀中空ファイバの伝送特性、レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会、2019 年 1 月 14 日、東海大学高輪キャンパス (東京)。

佐藤 駿、岩井克全、齋藤 亮磨、高久 裕之、宮城 光信、内径 530 μ m 銀中空ステンレスファイバ先端素子の製作 - 内面平滑化膜成膜法の改善 -、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、2018 年 9 月 11 日、金沢大学 (石川県・金沢市)。

岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、Ni - Ti チューブを母材とした光学膜内装銀中空ファイバの試作、平成 30 年度電気関係学会東北支部連合大会、2018 年 9 月 6 日 岩手大学 (岩手県・盛岡市)。

K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, X. S. Zhu, Y. Matsuura, Transmission properties of dielectric-coated hollow optical fibers based on stainless tube, Photonics West 2018, 2018. 1. 27, The Moscone Center San Francisco, California, (USA).

岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、均一光学ポリマー内装内径 700 μ m 中空ファイバの伝送特性、レーザー学会学術講演会第 38 回年次大会、2018 年 1 月 25 日、京都市勤業館みやこめッセ (京都市)。

岩井克全、齋藤 亮磨、高久 裕之、宮城 光信、CO₂ レーザ光伝送用高強度中空ファイバの伝送特性、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、2017 年 9 月 14 日、東京都市大学世田谷キャンパス (東京)。

佐々木 泰大、岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、内径 75 μ m 銀中空ファイバ先端素子の製作、平成 29 年度電気関係学会東北支部連合大会、2017 年 8 月 25 日 弘前大学 (青森県・弘前市)。

K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, and Y. Matsuura, Improvement of transmission properties of visible pilot beam for polymer-coated silver hollow fibers with acrylic silicone resin as buffer layer for sturdy structure, RIEC and IEEJ International Workshop on Biomedical Optics 2017, 2017. 3. 6, Tohoku. Univ. (Miyagi・Sendai).

K. Iwai, H. Takaku, M. Miyagi, Y. W. Shi, and Y. Matsuura, Improvement of transmission properties of visible pilot beam for polymer-coated silver hollow fibers with acrylic silicone resin as buffer layer for sturdy structure, Photonics West 2017, 2017. 1. 29, The Moscone Center San Francisco, California (USA).

岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、石 芸尉、Er:YAG レーザ光伝送用光学膜内装銀中空ステンレスファイバの特性、レーザー学会学術講演会第 37 回年次大会、2017 年 1 月 7 日 徳島大学常三島キャンパス (徳島県・徳島市)。

K. Iwai, Y. Matsuura, H. Takaku, M. Miyagi, K. Katagiri, and Y. W. Shi, Improvement of Mechanical Strength of Polymer-Coated, Hollow-Optical Fiber for FT-IR Remote Spectroscopy, The 6th Asia Pasific Optical Sensors Conference 2016, 2016. 10. 13, Haoran High-tech Mansion, Shanghai, (China).

岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、石 芸尉、高強度銀中空ファイバの伝送特性の改善、電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会、2016 年 9 月 22 日、北海道大学 (北海道・札幌市)。

岩井 克全、高久 裕之、宮城 光信、内径 530 μ m 銀中空ファイバの可視パイロット光伝送特性の改善、平成 28 年度電気関係学会東北支部連合大会、2016 年 8 月 30 日、東北工業大学 (宮城県仙台市)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

研究代表者氏名：岩井 克全

ローマ字氏名：IWAI, Katsumasa

所属研究機関名：仙台高等専門学校

部局名：総合工学科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：1 0 3 6 1 1 3 0