

Oral presentation | 3 Optics and Photonics : 3.13 Optical control devices and optical fibers

📅 Wed. Sep 18, 2024 9:00 AM - 10:30 AM JST | Wed. Sep 18, 2024 12:00 AM - 1:30 AM UTC 🏢 A36 (TOKI MESSE 3F)

### [18a-A36-1~6] 3.13 Optical control devices and optical fibers

Toshio Watanabe(Kagoshima Univ.)

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[18a-A36-1]

Development of Polymer Optical Splitters for Next-Generation Co-packaged Optics

○Satoshi Suda<sup>1</sup>, Rasel Md Omar Faruk<sup>1</sup>, Akihiro Noriki<sup>1</sup>, Fumi Nakamura<sup>1</sup>, Takeru Amano<sup>1</sup> (1.AIST)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[18a-A36-2]

All solid flexible light-induced self-written optical soldering using photocurable gel material

○Hayato Kakurai<sup>1</sup>, Hidetaka Terasawa<sup>1</sup>, Keisuke Kondo<sup>1</sup>, Okihiko Sugihara<sup>1</sup> (1.Utsunomiya Univ.)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[18a-A36-3]

A Proposal of Formation Technique of Light-Induced Self-Written Waveguide Using a Lasing Mechanism

○(M1)Shun Watanabe<sup>1</sup>, Keisuke Kondo<sup>1</sup>, Hidetaka Terasawa<sup>1</sup>, Okihiko Sugihara<sup>1</sup> (1.Utsunomiya Univ.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[18a-A36-4]

Fabrication of Light-Induced Self-Written Optical Waveguide Using 2 μm Laser Light

○Mizuki Shiba<sup>1</sup>, Yuta Sasaki<sup>2</sup>, Hidetaka Terasawa<sup>2</sup>, Keisuke Kondo<sup>1</sup>, Okihiko Sugihara<sup>1</sup> (1.Utsunomiya Univ., 2.Utsunomiya Univ. Eng.)

◆ Presentation by Applicant for JSAP Young Scientists Presentation Award

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[18a-A36-5]

Design of Focusing Retroreflector using Bloch-surface-wave Resonance

○(DC)Keisuke Ozawa<sup>1</sup>, Junichi Inoue<sup>1</sup>, Kenji Kintaka<sup>2</sup>, Shogo Ura<sup>1</sup> (1.Kyoto Inst. Tech., 2.AIST)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[18a-A36-6]

Design of Thin-film Narrowband Retroreflector for Oblique Incidence of Diverging Wave

○Keisuke Sakatani<sup>1</sup>, Yuya Yamanishi<sup>1</sup>, Keisuke Ozawa<sup>1</sup>, Junichi Inoue<sup>1</sup>, Syogo Ura<sup>1</sup> (1.Kyoto Inst. Tech)

## 次世代光電コパッケージに向けたポリマー光スプリッタの開発

### Development of Polymer Optical Splitters for Next-Generation Co-packaged Optics

産総研<sup>1</sup> ○須田 悟史<sup>1</sup>, ラッセル MD オマール ファルク<sup>1</sup>, 乗木 暁博<sup>1</sup>, 中村 文<sup>1</sup>, 天野 建<sup>1</sup>  
 AIST<sup>1</sup>, °Satoshi Suda<sup>1</sup>, Rasel Md Omar Faruk<sup>1</sup>, Akihiro Noriki<sup>1</sup>, Fumi Nakamura<sup>1</sup>, Takeru Amano<sup>1</sup>

E-mail: [s-suda@aist.go.jp](mailto:s-suda@aist.go.jp)

近年の生成 AI の急速な普及に伴い、データセンターや高性能コンピューティングにおける光伝送の高速大容量化の需要が高まっており、IC とシリコンフォトニクス技術による光 IC を同一基板上に統合するコパッケージ技術 (CPO: Co-packaged optics) が、高密度実装と低消費電力の観点から注目されている。我々は、シリコン光導波路と光ファイバーを高精度に接続する技術の開発に取り組んでおり、シリコン光導波路とポリマー光導波路を三次元ミラーで結合する三次元光配線実装技術を進めている。また、外部レーザー光源 (ELS) を用いてシリコンフォトニクス光変調器に光を供給する方法が標準化で現在議論中である (図 1 参照)。シリコン光導波路から光ファイバーへ結合する事が最もシンプルであるが、結合損失が高い上、ELS のような高い光パワーを入力すると、シリコン光導波路の非線形吸収や損傷などが報告されている[1]。我々の提案するコンセプトでは、ポリマー導波路は、低結合損失でシングルモード光ファイバー (SMF) とシリコンフォトニクスチップを接続し、低コストで電気回路と同一プロセスで形成できるという利点がある。本研究では、ガラスエポキシ基板上にテーパおよび S 字形導波路を有するポリマー1×4 光スプリッタを設計、及びレーザー直接描画 (DWL) リソグラフィ技術を用いて試作し、挿入損失において高い均一性を示した (図 2(a)参照)。また、ELS を用いた実験では、ハイパワー光入力 (+20 dBm) においても、挿入損失にほとんど変化がなく、過剰損失 (低パワーである+0dBm 入力時との差分) においても非常に低いことが確認された (図 2(b)参照)。本結果から、ポリマー光スプリッタはハイパワー光入力に対しても優れた安定性を示し、CPO での有効なソリューションのひとつであることが示唆された。

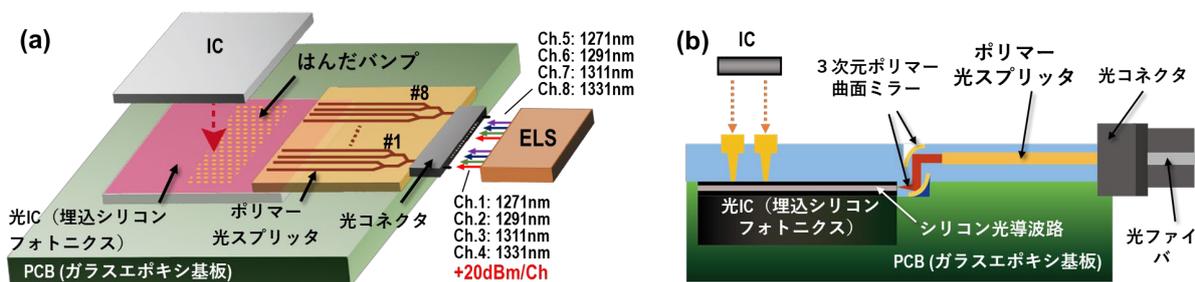


図 1: ELS とポリマー光スプリッタを用いた光電コパッケージのコンセプト図の(a)上面図と(b)断面図

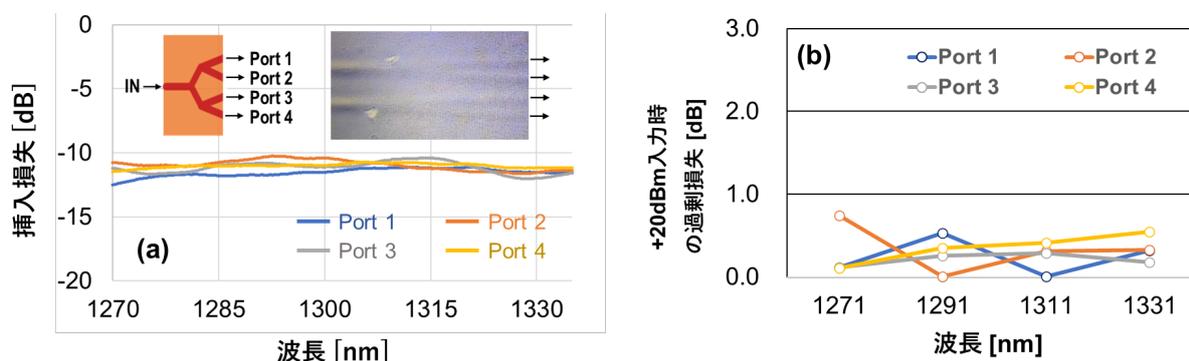


図 2: 製作した PCB 上の 1×4 ポリマー光スプリッタの(a)挿入損失と(b)+20dBm 入力時の過剰損失

謝辞: 本研究で使用された ELS のご提供と技術的なご指導を頂きました古河電気工業株式会社の那須秀行氏と澤村壯嗣氏に深く感謝致します。また、この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21029) の結果得られたものである。

参考文献: [1] S. Singer, et. al., CLEO2022, SF3O.4 [2] S. Suda, et. al., CLEO2024, SF3F.7 [3] O. F. Rasel, et. al., CLEO2024, JTh2A.32

## 光硬化性ゲル材料を用いた全固体フレキシブル自己形成光接続

All solid flexible light-induced self-written optical soldering using photocurable gel material

宇大院<sup>1</sup>, <sup>○</sup>(M2)加倉井 隼人<sup>1</sup>, 寺澤 英孝<sup>1</sup>, 近藤 圭祐<sup>1</sup>, 杉原 興浩<sup>1</sup>

Utsunomiya Univ.<sup>1</sup>, <sup>○</sup>Hayato Kakurai<sup>1</sup>, Hidetaka Terasawa<sup>1</sup>, Keisuke Kondo<sup>1</sup>,

Okihiro Sugihara<sup>1</sup>

E-mail: mc236521@s.utsunomiya-u.ac.jp

【緒言】近年、自動車や産業用ロボットアームなどにおいて、軽量かつ高速なデータ伝送を実現するため、光ファイバの活用への期待が高まっている。車載条件下における光通信では、光ファイバ間の間隙は振動による軸ずれにより低損失な光接続を実現する上で課題となっている。光ファイバ間の接続に関する問題を解決する方法として、ゲル材料を用いたフレキシブル自己形成(LISW)光導波路と自動光接続の研究を行っている<sup>1)</sup>。本研究では、コア径 50  $\mu\text{m}$  の GI 型ガラス光ファイバ(GI-GOF)での全固体フレキシブル LISW 光接続について行ったので、その結果を報告する。

【実験・結果】クラッド材料を選定するために単官能アクリレート、二官能ウレタンアクリレート、開始剤を用いた。それぞれの二官能ウレタンアクリレートでの圧縮試験の結果を図 1 に示す。その後、選定した材料を用いて全固体フレキシブル自己形成光導波路の作製を行った。コア材料に単官能アクリレート、二官能ウレタンアクリレート A、近赤外吸収色素、開始剤を用いた。クラッド材料に単官能アクリレート、二官能ウレタンアクリレート G、開始剤を用いた。対向した GI-GOF の先端に調製したコア材料を滴下させ、波長 851 nm のレーザ光を用いて双方向照射した（出力 20  $\mu\text{W}$ 、照射時間 1 min）。未硬化部分を洗浄した後、クラッド材料を滴下し、波長 405 nm のレーザ光を照射させた（出力 2.0  $\mu\text{W}$ 、照射時間 20 sec）のちに上部から波長 405 nm の光源を上部から照射させる（出力 275 W、100 %、照射時間 20 sec）ことにより全固体 LISW 光導波路成長を確認した。GI-GOF 間の LISW 光接続を実現するために双方向照射を行った結果を図 2 に示す。LISW 光導波路は光ファイバから剥離することなく、光ファイバ端面と導波路との密着性も良好で、柔軟性を維持した光接続が作製できた。

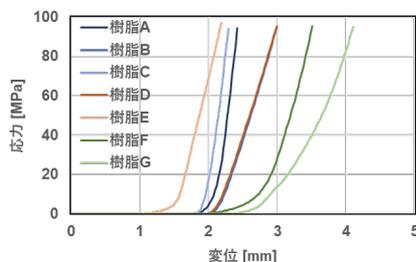


Fig.1 Compression test results with each urethane acrylate

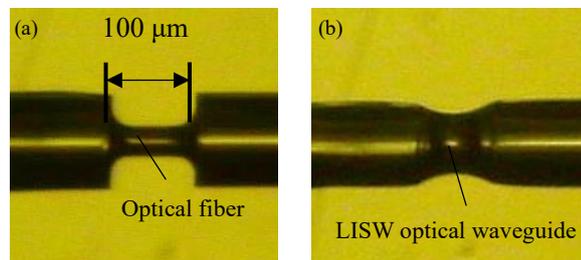


Fig.2 LISW optical self-coupling

(a) core only (b) core and solidified cladding

【参考文献】 R. Futawatari, H. Terasawa, O. Sugihara J. Robot. Mechatron., 32 (2022) p.322.

## レーザー発振機構を用いた自己形成光導波路製作法の提案

### A Proposal of Formation Technique of Light-Induced Self-Written Waveguide Using a Lasing Mechanism

宇大院<sup>1</sup> ○渡邊 隼<sup>1</sup>, 近藤 圭祐<sup>1</sup>, 寺澤 英孝<sup>1</sup>, 杉原 興浩<sup>1</sup>

Utsunomiya Univ.<sup>1</sup>, °Shun Watanabe<sup>1</sup>, Keisuke Kondo<sup>1</sup>, Hidetaka Terasawa<sup>1</sup>, and Okihiko Sugihara<sup>1</sup>

E-mail: mc246559@s.utsunomiya-u.ac.jp

光ファイバーや、半導体光デバイス、シリコンフォトニクスデバイスの光接続では、精密な光軸調整が要求される課題がある。特に、シリコンフォトニクスデバイスの光入出射のスポット径は2~4  $\mu\text{m}$ と非常に小さく、接続コストが高いことが問題となっている。本研究室では光硬化性樹脂で作る自己形成光導波路を用いた、光軸ずれに対して高いトレランスをもつ自動光接続技術を研究している<sup>1)</sup>。本発表では、自己形成導波路の新規製作方法として、光接続箇所をレーザー共振器内に配置し、レーザー発振条件下でのみ導波路を形成する方法を提案し、その初期実証に成功したので報告する。

提案の自己形成導波路製作法の模式を Fig. 1 に示す。片側にのみ鏡面をもつ半導体光増幅器(ゲインチップ)とファイバーループミラーで共振器を構成し、その中に光硬化性樹脂で満たした光接続部を配置する(本実証実験では、V溝で固定した単一モードファイバー(SMF)を100  $\mu\text{m}$ の隙間を空けて対向させている)。このようにすると、光接続部で光軸が合ったときのみレーザー発振を起こして自己形成導波路が形成されるので、光軸が大きくずれているときの誤形成を防げる。さらに、原理的には、共振可能な波長だけでレーザー発振が起こるので、提案手法はグレーティングカプラーのような分散性をもつ光入出力や、波長フィルタを含むデバイスへの接続に威力を発揮すると期待される。

本実験ではループミラーの着脱で発振するかしないかを切り替え、そのときに自己形成導波路が形成されるかどうか確認した。発振時の光出力が光硬化性樹脂の硬化しきい値を超えるように、ゲインチップ注入電流を21.6 mAとし(CW動作)、発振時の出力は-0.3 dBm, 非発振時の出力は-15.4 dBmであり、その比は15.1 dBであった。発振波長は1610~1640 nmに広く分布していた。また、光硬化性樹脂は、モノマー、開始剤、1600 nm付近で吸収特性をもつ色素を混合したものである。ループミラーを接続せず、レーザー発振しないときの樹脂の様子を Fig. 2(a)に示す。光出力が低いためファイバー間に導波路は形成されていない。一方、レーザー発振時の樹脂の様子が Fig. 2(b)であり、ファイバー間に自己形成光導波路が形成されたことが分かる。また、自己形成導波路形成後には約1 dBの接続損失の改善が見られた。以上より、レーザー発振機構を用いた自己形成光導波路の製作を実証できた。

参考文献 1) H. Terasawa et al., Journal of Lightwave Technology, **39**, 7472 (2021).

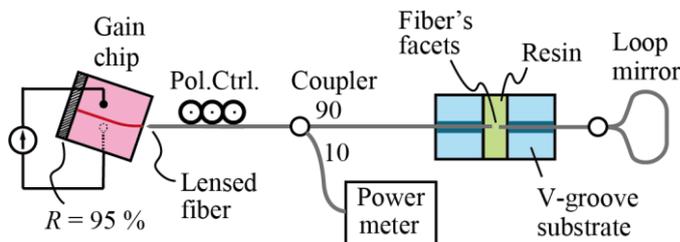


Fig1. Setup for forming light-induced self-written waveguide using lasing mechanism. The lasing occurs between gain-chip's mirror and loop mirror. The two fibers on the V-groove substrate are fixed with adhesive. All fibers are SMFs.

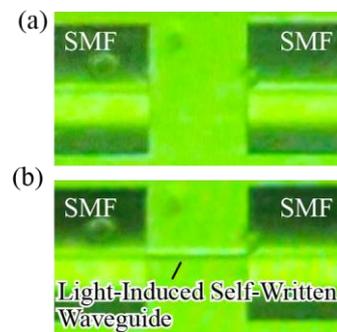


Fig2. Micrograph of fiber's facets facing each other in photo-curable resin, which are observed (a) without lasing and (b) with lasing.

## 波長 2 $\mu\text{m}$ での自己形成光導波路作製と自動光接続

Fabrication of Light-Induced Self-Written Optical Waveguide Using 2  $\mu\text{m}$  Laser Light

宇大院<sup>1</sup>, 宇大工<sup>2</sup>, <sup>○</sup>(M1)柴 瑞輝<sup>1</sup>, 佐々木 裕太<sup>2</sup>, 寺澤 英孝<sup>2</sup>, 近藤 圭祐<sup>1</sup>, 杉原 興浩<sup>1</sup>

Utsunomiya Univ.<sup>1</sup>, Utsunomiya Univ. Eng.<sup>2</sup>,

<sup>○</sup>Mizuki Shiba<sup>1</sup>, Yuta Sasaki<sup>2</sup>, Hidetaka Terasawa<sup>2</sup>, Keisuke Kondo<sup>1</sup>, and Okihito Sugihara<sup>1</sup>

E-mail: mc246511@s.utsunomiya-u.ac.jp

近赤外光の需要増加の背景において、特に二酸化炭素は波長 2  $\mu\text{m}$  帯に吸収があることから、この波長域にて二酸化炭素の濃度を測定する LiDAR に代表される小型センサが実現できれば、環境モニタに貢献できると考えられる。このような背景から、波長 2  $\mu\text{m}$  帯の光を利用した集積型 LiDAR の開発を目標として、シリコン導波路と光ファイバや光源との光接続技術、特に自己形成 (LISW) 光導波路を用いた簡易光接続が注目されている。これまで本研究グループでは、波長 1.55  $\mu\text{m}$  帯での LISW 光導波路を実現している<sup>[1]</sup>。今回は、波長 2  $\mu\text{m}$  帯の光による樹脂光硬化と LISW 光導波路の作製・双方向接続を行ったので、その結果を報告する。

本研究では、波長 2004 nm の光を用いた LISW 光導波路の作製・双方向接続の研究を行った。導波路作製の材料として、アクリル系モノマー・近赤外光重合開始剤・近赤外吸収色素で構成される光硬化性樹脂を調製し、二本のシングルモード光ファイバ間を LISW 光導波路で双方向接続した。Fig. 1 に石英ガラスファイバ (コア径 11  $\mu\text{m}$ ) を使用した LISW 光接続の顕微鏡画像を示す。光源出力 0.5 mW で双方向光照射を行い、100  $\mu\text{m}$  間隙に注入した光硬化性樹脂中に軸ズレのない LISW 光接続が実現できた。同様に波長 2  $\mu\text{m}$  帯で光伝搬損失が低いフッ化物ファイバ (コア径 6.5  $\mu\text{m}$ ) を使用した系でも双方向光接続を実現した。

Fig. 2 は Fig. 1 で作製した LISW 光導波路の挿入損失を示している。Fig. 2 に示すように、空気間隙と比較して 2.7 dB の損失改善が確認された。また、フッ化物ファイバを用いた系でも 6.8 dB の損失低減が実現できた。

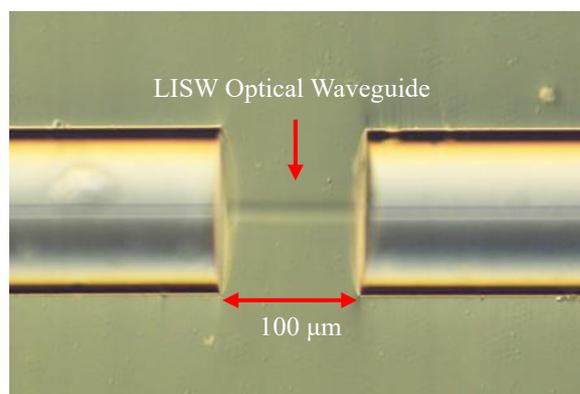


Fig. 1 Microscope image of LISW optical self-coupling using 2004 nm laser.

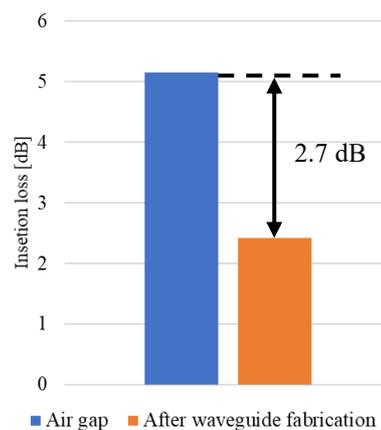


Fig. 2 Insertion loss measurement results.

### Reference

- [1] H. Terasawa and O. Sugihara, J. Lightwave Technol., 39, 23 (2021) 7472.



## ブロッホ表面波共鳴を用いた集光再帰反射

### Design of Focusing Retroreflector using Bloch-surface-wave Resonance

京都工繊大<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup> <sup>○</sup>(DC)小澤 桂介<sup>1</sup>, 井上 純一<sup>1</sup>, 金高 健二<sup>2</sup>, 裏 升吾<sup>1</sup>

Kyoto Inst. Tech.<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>, <sup>○</sup>(DC)Keisuke Ozawa<sup>1</sup>, Junichi Inoue<sup>1</sup>, Kenji Kintaka<sup>2</sup>, Shogo Ura<sup>1</sup>

E-mail: keichan.228@outlook.jp

レンズフリーの小型な半導体外部共振器レーザを構成するため、発散光を波長選択的に再帰反射するレーザミラーが検討されている[1]。そのようなミラーとして、これまでに、反射基板上の導波路共振器中に集光グレーティングカップラ(FGC)を集積した素子が報告された[2]。今回、導波モードの代わりにブロッホ表面波(BSW)を用いることで、より高い再帰反射率を目指したので報告する。

BSWは誘電体多層膜中のモードであり、多層膜反射と、空気界面での全反射によって表面に局在化し伝搬する。BSWを用いた再帰反射器の基本構成と光波伝搬の様子をFig. 1に示す。多層膜に一对の分布ブラッグ反射器(DBR)からなる共振器を形成し、その内部にFGCを集積する。共鳴波長の発散光がFGCに入射すると、一部がBSWへと結合される。BSWはDBR反射により共振器内を往復し、FGCによって発散放射光・集光放射光に結合される。一方、入射光のうちFGCを透過した成分は多層膜反射される。発散放射光と多層膜反射光が干渉により相殺することで、集光反射光のみが残り、再帰反射が発現する。非共鳴時には入射発散光がBSWに結合せず、多層膜反射するのみである。

波長1550 nmで動作する再帰反射器を設計した。Fig. 2にその構造を示す。多層膜はSiO<sub>2</sub> (厚さ270 nm, 屈折率1.444)とa-Si:H (厚さ120 nm, 屈折率3.200) からなり、その上に高さ20 nmのSiO<sub>2</sub>/a-Si:Hグレーティングを含む追加層を積層した。FGC長は31 μmとした。片側拡がり角13.4°の発散光を想定し、焦点距離は67 μmとした。

有限差分時間領域法による数値シミュレーションを用い、発散ガウシアンビーム入射時の再帰反射率を計算した。比較のために、a-Si:Hを導波コアとして導波モードを用いる構造に

ついても同様のシミュレーションを行った。得られた再帰反射スペクトルをFig. 3に示す。導波路構造では70%、提案構造では81%の最大再帰反射率が得られ、11%の再帰反射率改善が期待できる。

[1] R. Ueda, et al., in *Tech. Dig. 26th MOC*, p. 96-97 (2021).

[2] J. Inoue, et al., *Appl. Phys. Exp.*, **14**, 082003 (2021).

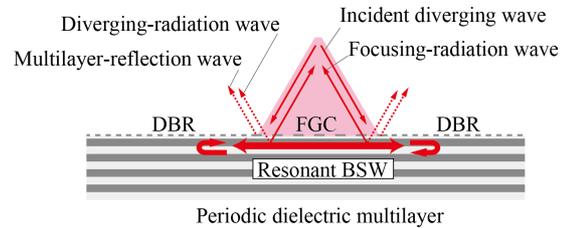


Fig. 1 Basic structure of the proposed retroreflector and wave propagations.

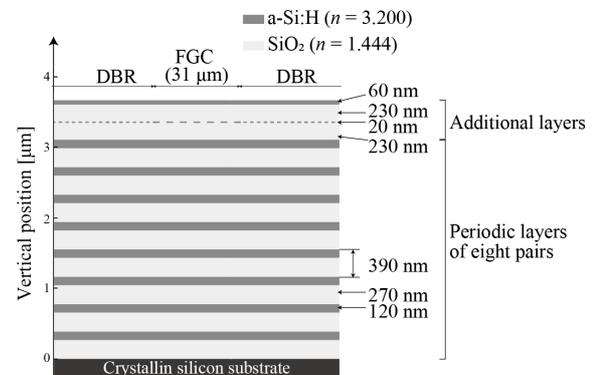


Fig. 2 Design example of a proposed retroreflector.

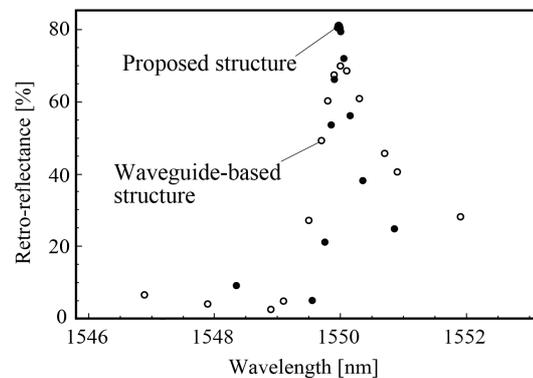


Fig. 3 Predicted retroreflection spectra of proposed and waveguide-based structures.

## 薄膜狭帯域傾斜集光再帰反射器の設計 Design of Thin-film Narrowband Retroreflector for Oblique Incidence of Diverging Wave

京都工繊大<sup>1</sup>, ○阪谷圭亮<sup>1</sup>, 山西裕也<sup>1</sup>, 小澤桂介<sup>1</sup>, 井上純一<sup>1</sup>, 裏升吾<sup>1</sup>

Kyoto Inst. Tech.<sup>1</sup>, ○K. Sakatani<sup>1</sup>, Y. Yamanishi<sup>1</sup>, K. Ozawa<sup>1</sup>, J. Inoue<sup>1</sup>, S. Ura<sup>1</sup>

E-mail: m3621023@edu.kit.ac.jp

半導体光増幅器 (SOA) と狭帯域集光再帰反射器の組み合わせは、超小型の波長安定化外部共振器レーザーの構成法として魅力的である。狭帯域集光再帰反射器として集光共振器集積導波モード共鳴フィルタ (F-CRIGF) を検討し、基本特性は実証している。一方、一般的な SOA からの光は、SOA 端面の法線から光軸が傾いている。今回は傾斜入射光を再帰反射する F-CRIGF について報告する。F-CRIGF の基本構造と光波結合の様子を Fig. 1 に示す。高反射基板上的光導波路に、1 対の分布ブラッグ反射器 (DBR) によって形成された導波路共振器と、集光グレーティング結合器 (FGC) を集積して構成される。共振条件において、入射発散光の一部は FGC により導波光に結合する。導波光は共振器内を往復しながら FGC によって発散光と集光再帰光として放射される。発散入射光の残りは高反射性基板により反射される。発散放射光が干渉によって基板反射光を打ち消すことで、集光再帰反射を得る。高い再帰反射率を得るには、発散放射光と基板反射光の電界分布を整合させることが肝要である。

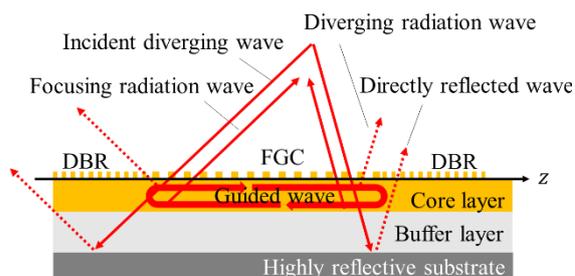


Fig. 1. A basic structure of the F-CRIGF.

今回、FGC の結合係数分布を FGC のグレーティングの Fill factor (凸幅/周期) とバッファ膜厚により変化させ、再帰反射率を最大化することを試みた。発散角 49 度で 20 度傾いた入射光に対して動作する F-CRIGF を設計した。グレーティング膜厚 50nm、コア膜厚 370nm、バッファ膜厚 2000nm、FGC 長 30 $\mu\text{m}$ 、FGC 周期 657~968nm とした。Fig. 2 に Fill factor の分布の設計例を示す。導波光伝搬方向を z 軸にとり、FGC の中央を  $z = 0$  としている。  $z = 5\mu\text{m}$  付近で Fill factor を 0.5 とし、結合係数を最大としている。 Fill factor の範囲は 0.5~0.87 となった。2 次元有限差分時間領域法シミュレーションにより再帰反射率を見積もった。得られた再帰反射スペクトルを Fig. 3 に示す。最大再帰反射率は 63% となった。

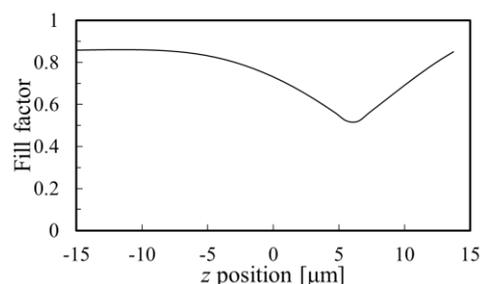


Fig. 2. Designed grating fill factor.

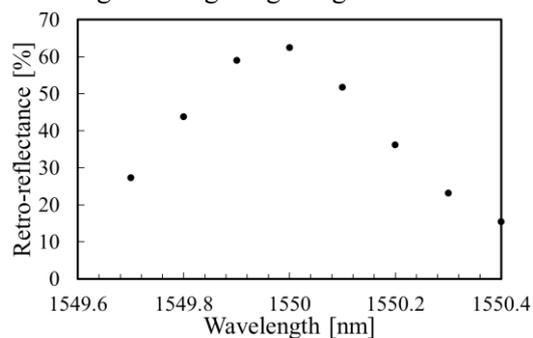


Fig. 3. Retro-reflectance spectrum.