

## 赤外光での光通信部品間自動接続に成功

～シリコンフォトニクスデバイスの簡易低コスト実装に期待～

### 【発表のポイント】

- ・波長 1100 nm 以上の赤外光で硬化可能な、光硬化性樹脂の開発に成功した。
- ・赤外光硬化性樹脂により、光通信波長光（1310 nm～1550 nm）を用いた自己形成光導波路の作製と光通信部品（光源、光ファイバ、シリコン光回路等）間の自動接続に成功した。
- ・光通信部品の簡易低コスト実装への応用が期待される。

### ■研究概要

宇都宮大学の杉原興浩教授、寺澤英孝研究員の研究グループは、赤外光での光硬化性樹脂の開発に成功し、それを用いた自己形成光導波路による光通信部品間の自動接続に成功しました。

近年、情報通信量の増加により、通信機器の高性能化と低消費電力化が求められています。シリコンフォトニクス<sup>注1</sup>は、シリコン電子回路製造プロセスを応用してシリコンチップ上に光回路を集積化することで、小型化、高集積化、低コスト化を実現するものとして期待されています。シリコンフォトニクスでは数百ナノメートルサイズのシリコン光回路<sup>注2</sup>が光配線に用いられます。シリコン光回路とシングルモード光ファイバ（SMF）との接続においては、コア断面積比が数倍に及ぶことによる接続損失と、サブマイクロメートルオーダの実装精度が問題となっています。また SMF またはシリコン光回路と、受発光素子との間の接続に関しても、高効率・簡易実装技術が求められています。

本研究では、上記の課題を解決するために、赤外光で硬化可能な光硬化性樹脂<sup>注3</sup>と、それを用いた自己形成光導波路技術による簡易接続技術を開発しました。通常、光硬化性樹脂の硬化可能な波長範囲は、紫外光～波長 850 nm の近赤外光<sup>注4</sup>に制限されますが、本研究では、波長 1310 nm～1550 nm（nm は mm の百万分の一）の光通信波長帯で硬化可能な赤外光硬化性樹脂の開発に成功しました。また、開発した赤外光硬化性樹脂を用いて、自己形成光導波路の作製と、シリコンフォトニクスデバイス間の自動接続を実現しました。本研究により、シリコンフォトニクスや光通信分野における簡易実装技術の実現と、それによる実装コストの低減が期待されます。

本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的イノベーション創出推進プログラム（S-イノベ、JPMJSV0917）、JST 研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP、JPMJTR20RK）、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）委託業務「NEDO先導研究プログラム」、科学研究費助成事業基盤研究（20K05356）からの支援を受けて行われました。

本研究成果は、2021年3月19日 第68回 応用物理学会 春季学術講演会で口頭発表を行い、寺澤研究員が講演奨励賞を受賞しました。また、9月24日、学術誌「Journal of Lightwave Technology」に掲載されました（オンライン版で先行公開されました）。

## ■研究の背景

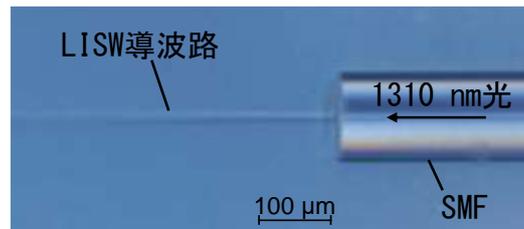
近年、情報通信量の増加により、長距離光通信だけでなく、データセンタなど短距離通信においても光配線が重要となってきています。シリコンフォトニクスは、LSI 製造プロセスを応用してシリコンチップ上に光回路を集積化することで、小型化、高集積化、低コスト化を実現するものとして期待されています。特に、情報処理の分野では、シリコン電子回路内や、チップ間でのインターコネクションのボトルネックを解決する技術として注目されています。シリコンフォトニクスではサブマイクロメートル（1 mm の一万分の一）サイズのシリコン光回路が光配線として用いられます。シリコン光回路と外部光部品である光ファイバ（コア径約 10 マイクロメートル）との接続においては、コア断面積比が数倍に及ぶことによる接続損失と、サブマイクロメートルオーダーの実装精度が要求されており、解決すべき課題となっています。また、光ファイバまたはシリコン光回路と、受発光素子との間の接続に関しても、高効率・簡易実装技術が求められています。これらの問題を解決する技術として、スポットサイズ変換器（SSC）や回折格子結合器<sup>注5</sup>といった様々な技術が検討されています。これらの技術により結合効率は改善されてはいますが、依然としてサブマイクロメートルオーダーの実装精度が必要となっています。現状では、光ファイバや光源などの実装費用、評価費用がコストの大半を占めているため、これら光素子間の無調芯接続（パッシブアライメント<sup>注6</sup>）化技術は重要課題の1つと考えられます。

## ■研究成果

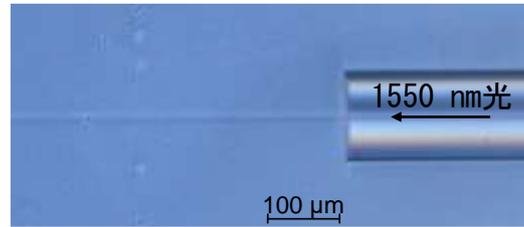
### 【研究成果 1】

シリコンフォトニクスデバイスのパッシブアライメント化技術を実現するため、本研究では自己形成光導波路の応用について研究を行いました。自己形成光導波路（LISW waveguide：Light-Induced Self-Written waveguide）は、光硬化性樹脂中に光ファイバなどから光を出射させ、ビームの伝播方向に自動的に光回路を作製する 3 次元光配線技術です。この技術は、対向して配置した軸ずれのある光素子間も自動的に接続することが可能であり、光配線・受発光素子の実装のパッシブアライメント化・低コスト化技術として注目されています。これまで自己形成光導波路の作製に用いられる光硬化性樹脂の硬化可能な波長範囲は、紫外光～波長 850 nm の近赤外光に限られていました。

そこで、本研究では光通信波長 1310 nm～1550 nm 帯に感度を有する樹脂を開発しました。これにより光通信波長 1310 nm～1550 nm の赤外光での光重合を実現しました。開発した赤外光硬化性樹脂を用いて自己形成光導波路の作製を行ったところ、波長 1310 nm および 1550 nm の連続波レーザの出力が 10  $\mu$ W（十万分の一ワット）という極低パワーで、自己形成光導波路の作製に成功しました（図 1(a), (b)）。作製した自己形成光導波路は、SMF 光ファイバのコアと軸ずれが全くありません。



(a)

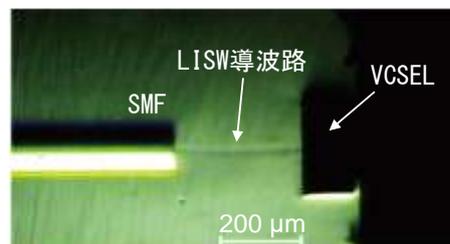


(b)

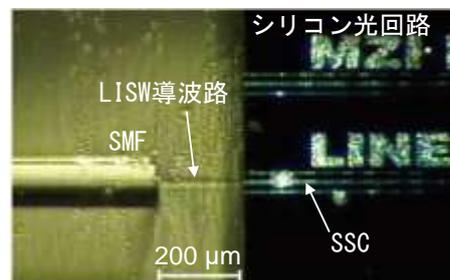
図1 自己形成光導波路の顕微鏡画像。(a)波長 1310 nm 連続波レーザーで作製、(b)波長 1550 nm 連続波レーザーで作製。

### 【研究成果 2】

次に、開発した赤外光での自己形成光導波路の作製技術を用いて、シリコンフォトニクスデバイス間の自己形成光接続を行いました。図 2 (a) および (b) は光ファイバー-赤外面発光レーザー (VCSEL) 間と、光ファイバー-シリコン光回路間の自己形成光接続を示してあります。双方向から波長 1550 nm のレーザー光を照射するだけで、自動的にシリコンフォトニクスデバイス間を接続することに成功しました。



(a)



(b)

図2 自己形成光導波路接続の顕微鏡画像。(a)光ファイバー-VCSEL 間、(b)光ファイバー-シリコン光導波路間。

### ■今後の展望 (研究のインパクトや波及効果など)

本研究の赤外光で硬化可能な光硬化性樹脂の実現は、世界で初めてであり、それを用いた自己形成光導波路と自動接続技術は、光通信デバイスの簡易実装技術への応用が期待されます。

シリコンフォトニクスデバイスには、シリコンやゲルマニウムといった半導体元素などが、光ファイバには石英ガラスが用いられ、デバイスは無機材料から構成されます。これら光デバイス間の接続に、有機材料を用いた自己形成光導波路を適用することで、簡易実装プロセスの実現が期待できます。

## ■論文情報

講演タイトル：高感度赤外光重合材料と自己形成光導波路の作製

会議名：第 68 回 応用物理学会 春季学術講演会

著者：寺澤 英孝, 杉原 興浩

講演番号：19a-Z05-5

論文名：Near-Infrared Self-Written Optical Waveguides for Fiber-to-Chip Self-Coupling

雑誌名：Journal of Lightwave Technology

著者：Hidetaka Terasawa and Okihiro Sugihara

Digital Object Identifier: 10.1109/JLT.2021.3115237

## ■用語説明

注 1 シリコンフォトニクス

シリコン電子回路の製造技術と設備を用いて、シリコン光回路を製造する技術。シリコン電子回路で培われてきた微細加工技術を応用しており、シリコン材料を用いた光デバイスの小型化・高集積化・大量生産が可能な技術。

注 2 シリコン光導波路

長距離の光伝送に用いられる石英光ファイバと比較して、シリコンはより強く光を閉じ込めることが可能。シリコンを材料として光回路を作製することで、光デバイスの大幅な小型化が実現できる。

注 3 光硬化性樹脂

光照射前の材料は液状であり、光を照射することで化学反応により硬化し、元に戻らなくなる樹脂。液状のものを加熱により固めるため、形状の自由度が高い。加熱により硬化する熱硬化性樹脂と比べて、低温での硬化や、微細加工などが可能である。

注 4 光の波長

紫外光：波長 100~400 nm 程度。

可視光：人間の目で見える光の波長の領域。波長 400~800 nm 程度。

赤外光：波長 800 nm~1 mm 程度。波長 800 nm~2500 nm は近赤外光とも呼ばれる。

注 5 スポットサイズ変換器 (SSC)、回折格子結合器

シリコン光回路の入出力部に設けられ、光ファイバやレーザなどシリコン光回路外の光部品との間の結合に用いられる光結合器。シリコン光回路内部のスポットサイズ (光が閉じ込められている円形領域の直径) は、数百ナノメートルサイズと極めて小さいのに対して、光ファイバのスポットサイズは約 10 $\mu$ m と大きい。そのため、直接結合すると大きな損失が発生する。

スポットサイズ変換器 (SSC) は、シリコン光回路のスポットサイズを変換し、光ファイバ

に整合させるデバイス。回折格子結合器は、光の回折現象を利用しており、光回路チップの表面垂直方向への光入出力が可能。

#### 注6 パッシブアライメント

光通信モジュールの組立において、半導体レーザや光ファイバなどの光学素子間の位置合わせを機械的精度のみで行う位置決め方式。パッシブアライメントに対してアクティブアライメントでは、半導体レーザ等を発光させ、光強度をモニタしながら位置合わせを行います。

#### 本件に関する問い合わせ

(研究内容について)

国立大学法人 宇都宮大学 工学部／オプティクス教育研究センター

教授 杉原 興浩 (すぎはら おきひろ)

TEL : 028-689-7137

E-mail : [oki-sugihara@cc.utsunomiya-u.ac.jp](mailto:oki-sugihara@cc.utsunomiya-u.ac.jp)

(報道対応)

国立大学法人 宇都宮大学 広報室 (広報係)

TEL : 028-649-5201 FAX : 028-649-5026

E-mail : [kkouhou@miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp](mailto:kkouhou@miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp)