

< 2 > 新規産業開発研究

< 2 - b > 地域産業育成探索 / 実証研究

地域光産業振興に関する研究

小テーマ：加工 側面励起型ファイバ増幅器の開発

研究従事者：浜松工業技術センター 副主任 山下清光

(1) 研究の概要、新規性及び目標

研究の概要

ネオジム（以下、Nd）を添加した光ファイバに（励起）光を照射することで、その端面からレーザー光が出射するファイバ増幅器を新しいレーザー光源として産業応用するため、レーザー発振部の作製や得られるレーザー光の出力やエネルギー密度分野などの特性を求めて、応用分野を検討した。

研究の独自性・新規性

通信用の光信号増幅器として光ファイバの端面に励起光を投入する信号増幅があるが、レーザー光源として、励起光を効率よく投入するため、光ファイバの側面からレーザー光を照射するものは(株)HOYAがフォトンプロジェクト事業（NEDO）で研究開発を行ったもの以外なく、また、研究段階で実用例は見られない。(株)HOYAの協力を得て、光ファイバの提供を受けて実施したものである。

研究の目標

数値目標等をあげ、具体的に、

Nd添加光ファイバを使用し、これを多重に巻き込み、その側面から励起光を照射させる方法でレーザー発振部を作製し、光ファイバ端面から高出力のレーザー光を得るための技術を開発する。

(2) 研究の進め方及び進捗状況

(目標と対比して)

光技術に関して地域中小企業のボトムアップや技術者育成のため、静岡県が進める「光技術研究開発事業」の中で、研究開発に取り組んだ。光ファイバは、(株)HOYAから無償で提供されたNd添加したものをボビンに巻き取ってレーザー発振部を製作し、加工委託した励起光照射装置に組み込んで、光ファイバ端面からレーザー光を取り出すための実験を行った。取り出すレーザー光の出力を高めるため、ファイバ側面への励起光の投入方法について開発をした。

< 実験方法 >

LD光を直接、励起光としてNd添加光ファイバの側面に照射したところ、照射部分での反射や散乱による損失が多く、効率の良い励起はできなかった。この原因はNd添加光ファイバへのLD光の結合効率が低いと考えられた。結合効率を向上させるために、Nd添加光ファイバへの励起光入射部の構造的な課題について検討した。なお、Nd添加光ファイバへの励起光の伝搬の割合を結合効率と呼ぶこととした。

空間照射による結合効率の測定

HeNeレーザー光を用いてNd添加光ファイバ1本または複数本に照射し、結合効率の入射角度依存性を測定した。また、レーザー光の偏光（円偏光、直線偏光〔P偏光、S偏光〕）による影響も観測した。

ライトガイドによる結合効率の測定

() 円柱形ライトガイドによる励起

空間照射における反射や散乱による励起光の損失を抑制するため、円柱形ライトガイド端面からレーザー光をNd添加光ファイバ側面へ供給して結合効率を測定した。ライトガイドとNd添加光ファイバ側面との接合部の隙間には、光ファイバの屈折率に近い紫外線硬化樹脂を用い両者を接着固化させた。

() 円柱形ライトガイド側面による励起

円柱形ライトガイドとNd添加光ファイバの側面同士を図1のように接触（固化）させ、側面からのレーザー光の結合効率を測定した。接触面積を増すために、紫外線硬化樹脂で隙間を埋めた。

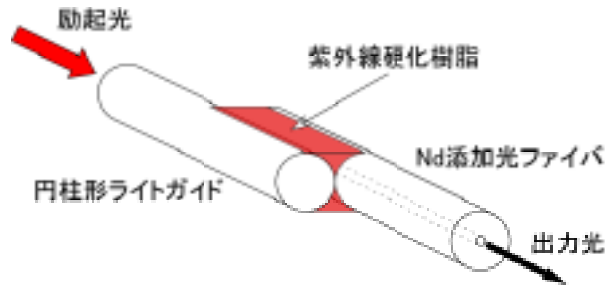


図1 円柱形ライトガイドNd添加光ファイバとの接触部分

() くさび形ライトガイドによる励起

位置精度を上げるために、直方体のガラス材の一端をくさび形にしたライトガイドを試作し、これにNd添加光ファイバを固着して結合効率を測定した。励起光を2ヵ所のライトガイドから入力し、入出力特性と出力光のスペクトルを測定した。

< 結果 >

空間照射による結合効率の測定

結合効率の入射角度依存性を評価したが、計算上最大と考えられる入射角 80 度付近でも結合率は $10^{-7}\%$ と極めて低く、空間照射では十分な結合効率を得られないことが分かった。また、偏光の違いによる結合効率への影響はなかった。

ライトガイドによる結合効率の測定

() 円柱形ライトガイドによる励起

結合率は $10^{-6}\%$ となり、空間照射に比べ 1 桁程度の改善がみられた。しかし、レーザー発振には至らなかった。この方法ではライトガイドとNd添加光ファイバ側面との隙間を埋めた紫外線硬化樹脂部分からレーザー光が漏れ出ていることが確認された。

() 円柱形ライトガイド側面による励起

ライトガイドの直径が細い方が結合率は高いという結果が得られた。

(a) 直径 0.1mm ライトガイド：結合効率 10%

(b) 直径 1mm ライトガイド：結合効率 1%

この結果から結合効率の値の高い方を採用すべきであったが、使用した励起光源のファイバ出力型 LD のコア径が 1mm であり、直径 0.1mm のライトガイドでは励起光の入力損失が問題となった。

また、Nd添加光ファイバのライトガイド側面上での固定位置により、結合効率が大きく変わることから、最適位置を探し出すのが困難であった。さらにライトガイド側面が円柱形でNd添加光ファイバを最適位置に樹脂で固化させることも困難であった。

() くさび形ライトガイドによる励起

くさび形ライトガイドからNd添加光ファイバ(8本)への結合効率は約5%であった。このライトガイドを使用して、長さ11mのNd添加光ファイバを8巻して励起光照射実験を行ったところ、励起光8W(波長808nm)を発振閾値としてレーザー発振を確認した。励起光25Wの入力でファイバ端からの出力光300mW(中心波長1064nm)を得た。光-光変換効率(励起光に対する出力光の割合)は1%と改善された。励起光照射部とくさび形ライトガイドをそれぞれ図2、図3に、入出力特性と出力スペクトルを、それぞれ図4、図5に示す。



図2 励起光照射部

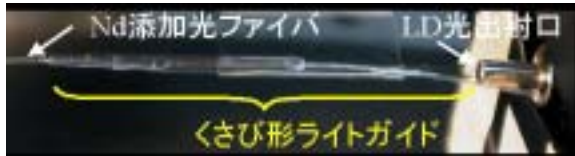


図3 くさび型ライトガイド

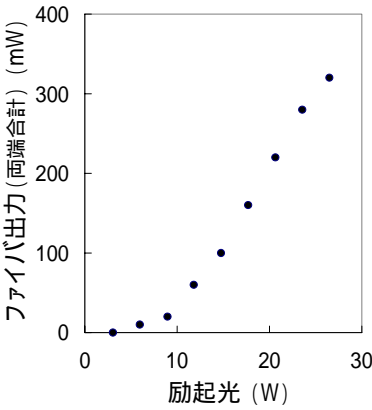


図4 入出力特性

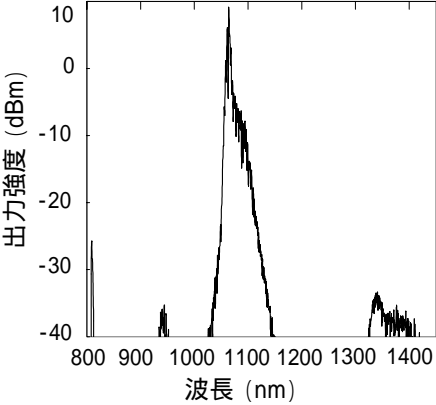


図5 出力スペクトル

(3) 主な成果

ファイバ増幅器のレーザー発振部を作製し、レーザー発振させ出力 300mW (中心波長 1064nm) の出力を得ることに成功した。

論文数：1 口頭発表件数：2

(4) 研究成果に関する評価

国内外における水準との対比

(株)HOYAの研究報告では、入力 55W に対しレーザー出力 15W を得たと報告されている。さらに、フォトンプロジェクト事業の最終報告では、試作品として3台のファイバレーザーを接続し、ピーク出力 1 kW を得たとされている。

実用化に向けた波及効果

浜松工業技術センターの研究発表では、地域企業の関係者からの関心も高く、実用化が期待されている

(5) 残された課題と対応方針について

レーザー発振にはしたが、光-光変換効率が 1% と低かった。これは励起光が Nd 添加光ファイバに、まだ効率よく導光されていないためと推測される。実用化のためには、さらに結合効率を向上させる必要があると考えられる。