

A4

高出力Ndドープファイバ増幅器

High Power Square Shaped Nd Doped Fiber Amplifier

庄司 康浩¹、平野 嘉仁¹、辰巳 賢二¹、笠原 久美雄¹

荒木 智宏²、久田 安正²

Yasuhiro SHOJI¹, Yoshihito HIRANO¹, Kenji TATSUMI¹, Kumio KASAHARA¹

Tomohiro ARAKI², Yasumasa HISADA²

三菱電機株式会社¹、宇宙開発事業団²

Mitsubishi Electric Corporation¹, NASDA²

Since Nd doped fiber amplifiers could be used as high frequency modulated power source for inter-orbit communication or CW laser radar, we have fabricated and studied a square shaped double clad Nd doped fiber (DC-NDF) for the 1.06mm amplifier characteristics. The maximum output power of 3 watts is obtained with extraction efficiency of 42.7% from incident pump power.

1. はじめに

高速変調可能で、高ビーム品質、マルチワットクラスの高出力を有するレーザー光源は、静止衛星間などの長距離大容量空間光伝送や、CWレーザーレーダなどの用途に有効である。半導体レーザーの場合、高速変調可能ではあるが高ビーム品質のものは出力が高々数100mWである。固体レーザーの場合、高ビーム品質、マルチワットクラス出力は容易に達成できるが、変調帯域は高々数100kHzに限られる。一方、低パワーの高速変調光を高出力に増幅できれば、任意の変調光の高出力化が可能である。光増幅器としては、半導体増幅器、固体レーザー増幅器、光ファイバ増幅器などがあるが、特に光ファイバ増幅器は、信頼性、モード選択性、低入力信号パワーでの飽和増幅、熱破壊限界などの点で優れており、高効率、高出力増幅器として期待できる。この観点から、今回、波長 $1\mu\text{m}$ 帯のNDF (Nd Doped Fiber Amplifier) の開発を行い、高効率、高出力動作の確認を行ったので報告する。

2. 増幅用ファイバ構成

ビーム品質の悪い高出力LD出射光を増幅用ファイバに入力する方策としては、信号光導波路であるNdドープシングルモードコアのクラッド(第1クラッド)の周りに更に第2クラッドを製作し、この第1クラッドに励起光を入射させマルチモード伝搬させる2重クラッド方式を用いている。この方式では、励起光は第1クラッドをマルチモード伝搬しながらシングルモードコア部分で吸収される。第1クラッドの形状が円形の場合、励起光の伝搬においてスキュー成分が存在するため、全励起光をNdドープシングルモードコア部分に入射させて吸収させることができない。こたため、第1クラッドの形状を方形とした2重クラッドNdドープファイバ(DC-NDF)を製作した。Fig.1に、DC-NDFの断面図を示す。ここで第1クラッドの一辺の長さは、円形のシングルモードファイバとの融着接続が可能な $125\mu\text{m}$ とした。また、励起光のファイバ内伝搬損失を低減させるために第2クラッド材には低ヤング率のハードポリマを使用した。Fig.2は、励起光のファイバ内伝搬におけるパワーの変化を示したものである。励起光はファイバ内でほぼBeerの法則に従い吸収されており、方形クラッド形状の有効性が確認できた。

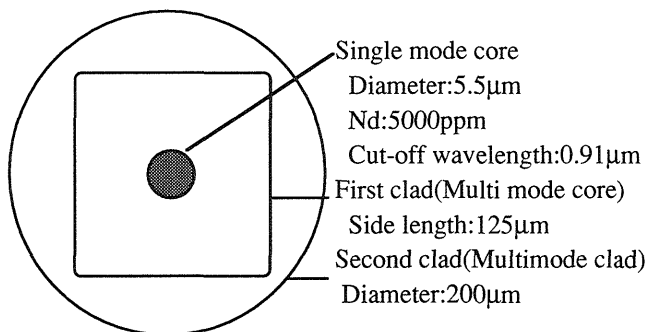


Fig. 1. Cross sectional geometry of DC-NDF.

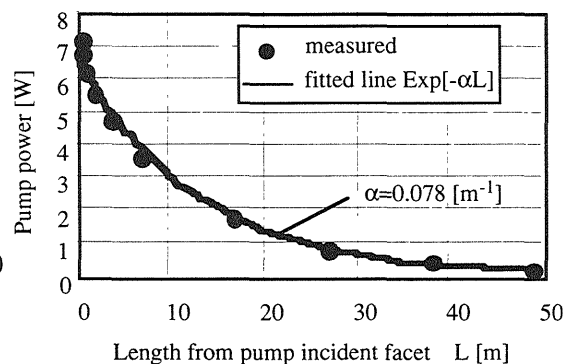


Fig.2. Pump absorption characteristics of DC-NDF.

3. 増幅特性

Fig.3に増幅器構成を示す。ファイバカップル型の高出力LD出射光を励起光とし、この励起光をWDM/Mでポリマクラッドファイバ(PCF)に入力した後、PCFとの融着点を通しDC-NDFに入力する。一方、信号光はDC-NDFの他端からシングルモードファイバとの融着点を通しDC-NDFに入力する。信号光は線幅5kHz、波長1064nmのNd:YAGレーザ出力光を、導波路型位相変調器により10GHzで位相変調して用いている。Fig4は入力信号光パワーは34mW時の増幅器出力の励起パワー依存性である。励起光パワーが7.04Wのとき前方方向の信号光出力として3.0Wが光-光変換効率42.7%で得られた。このときの増幅利得は19.5dB、ASE抑圧度は約35dBである。この励起条件におけるDC-NDF内での増幅特性をレート方程式とファイバ内の伝搬方程式により計算した。結果をFig.5に示す。計算におけるパラメータフィッティングにより、Nd:Silicaの発光量子効率 η_{sp} は72%程度と推定できる。これは、シリカ内でのNdのクラスタリングが原因だと考える。また、後方出力の測定値は360mWであり、計算における値である100mWに比べ大きい。この理由として、増幅器端での弱い反射の影響と考えている。

4. まとめ

静止衛星間などの長距離大容量空間光伝送や、CWレーザレーダなどの用途に用いる高速変調可能な高出力光源として、ファイバ増幅器に着目し、その高出力、高効率動作を確認した。スキュー成分の発生を抑え高励起光吸収率が得られる方形クラッドDC-NDFを試作し、信号光出力3.0Wを光-光変換効率42.7%で得た。Ndのクラスタリング発生を抑え発光量子効率を向上させるとともに、ファイバ端での反射を抑えることで、更に高出力、高効率動作が期待できる。

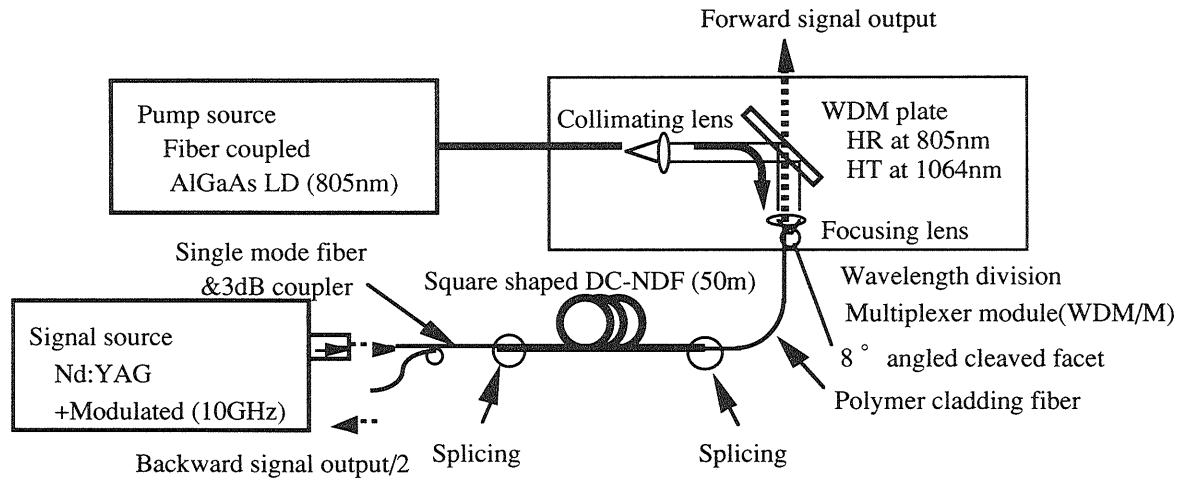


Fig.3. Experimental setup of high power NDFA.

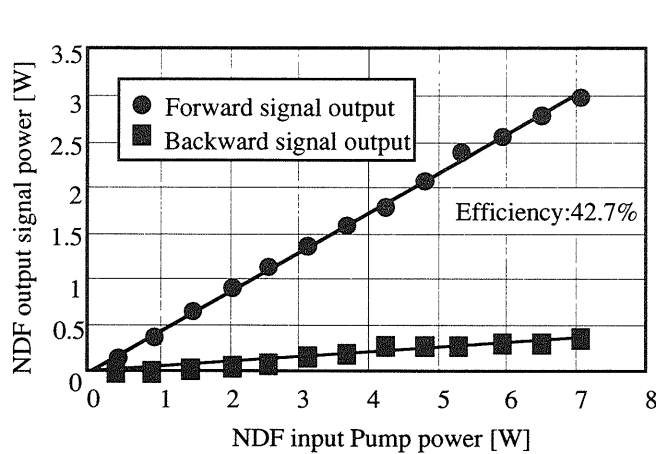


Fig.4. Output power vs incident pump power.

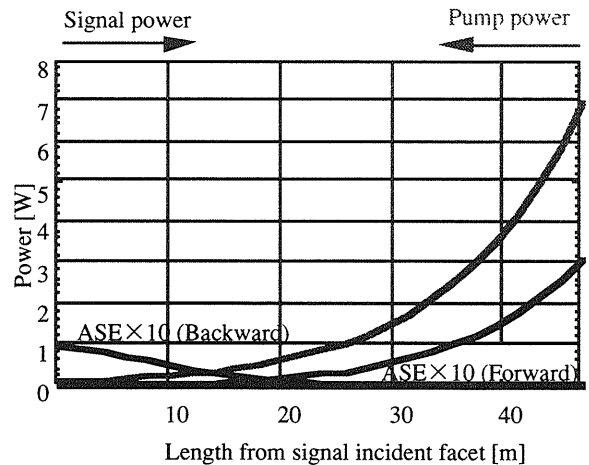


Fig.5. Calculated powers in the NDF ($P_p=7.04W$).