

明 細 書

発明の名称：

ファイバチャープドグレーティング素子及びファイバレーザ

技術分野

[0001] 本発明は、一方の端面から遠ざかるに従ってピッチが次第に大きくなるグレーティングを光ファイバのコアに書き込むことによって得られるファイバチャープドグレーティング素子に関する。また、そのようなファイバチャープドグレーティング素子を備えたファイバレーザに関する。

背景技術

[0002] 光加工及び光通信の分野では、レーザ発振器として、ファイバレーザが広く用いられている。このようなファイバレーザにおいては、コアに希土類元素が添加された増幅用光ファイバを含むキャビティを形成するために、増幅用光ファイバの一端にミラーとして機能するファイバブラッググレーティング素子が接続され、増幅用光ファイバの他端にハーフミラーとして機能するファイバブラッググレーティング素子が接続される。ファイバブラッググレーティング素子は、ピッチが一定 (Λ とする) のグレーティングを光ファイバの書き込むことにより得られる素子であり、波長が $2n\Lambda$ (n は自然数) となる光を選択的に反射する機能を有する。

[0003] このようなファイバレーザにおいては、高出力化を進めるとスペクトラムホールバーニングや誘導ラマン散乱などの非線形光学効果が生じ易くなるので、これを避けるために発振波長を広帯域化する必要が生じる。この場合、ピッチが一定のグレーティングがコアに書き込まれた通常のファイバブラッググレーティングの代わりに、一方の端面から遠ざかるに従ってピッチが次第に大きくなるグレーティングが書き込まれたファイバチャープドグレーティング素子がミラー及びハーフミラーとして用いられる。ファイバチャープドグレーティング素子の反射帯域は、通常のファイバブラッググレーティングの反射帯域よりも広いためである。

[0004] 特許文献1には、このようなファイバチャープドグレーティング素子（特許文献1における「ファイバブラッググレーティング素子」に相当）が開示されている。特許文献1によれば、コアに書き込むグレーティングと同じグレーティングをクラッドにも書き込むことによって、反射帯域が広くするとともに、遮断量を大きくすることができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：日本国公開特許公報「特開2008-282044号公報（公開日：2008年11月20日）」

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、従来のファイバチャープドグレーティング素子においては、グレーティングが密に形成されると共に、入射光と反射光との多重干渉により光のエネルギー密度が高くなる方の端面からコアに光を入射させると、入射端面近傍における発熱量が大きく、これにより信頼性の低下を招来するという問題があった。このような問題が生じる理由は、以下のとおりである。

[0007] すなわち、ファイバチャープドグレーティング素子を製造するためには、まず、ゲルマニウム等の光感受性を有する元素がコアに添加された光ファイバを作成し、次に、この光ファイバに紫外線を照射することによってグレーティングを書き込む必要がある（紫外線を照射された領域が、グレーティングを構成する高屈折率領域となる）。この際、紫外線を照射された領域、すなわち、グレーティングを構成する高屈折率領域の内部に欠陥が形成されてしまう。このため、ファイバチャープドグレーティング素子のグレーティングに光が入射すると、その一部がグレーティングを構成する各高屈折率領域に含まれる欠陥により熱に変換される。特に、ファイバチャープドグレーティング素子においては、入射光と反射光との多重干渉により光のエネルギー

密度が高くなる入射端面近傍においてグレーティングが密に形成されている。したがって、入射端面近傍における発熱量が大きくなり易い。

[0008] 本発明は、上記の問題に鑑みてなされたものであり、従来のファイバチャープドグレーティング素子と比べて、入射端面近傍における発熱量が小さく、信頼性の高いファイバチャープドグレーティング素子を実現することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 上記の目的を達成するために、本発明に係るファイバチャープドグレーティング素子は、屈折率が n_0 であるコアに屈折率が n_i ($n_i > n_0$)である高屈折率領域からなるグレーティングが書き込まれたファイバチャープドグレーティング素子であって、上記グレーティングのピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の一方の端面から遠ざかるに従って大きくなり、上記グレーティングの屈折率差 $\Delta n_i = n_i - n_0$ は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の上記一方の端面から遠ざかるに従って大きくなる、ことを特徴とする。

[0010] また、上記の目的を達成するために、本発明に係るファイバチャープドグレーティング素子は、屈折率が n_0 であるコアに屈折率が n_i ($n_i > n_0$)である高屈折率領域からなるグレーティングが書き込まれたファイバチャープドグレーティング素子であって、上記グレーティングのピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の一方の端面から遠ざかるに従って大きくなり、上記高屈折率領域の厚み D_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の一方の端面から遠ざかるに従って大きくなる、ことを特徴とする。

発明の効果

[0011] 本発明よれば、従来よりも入射端面近傍における発熱量の小さいファイバチャープドグレーティング素子を実現することができる。その結果、従来よりも信頼性の高いファイバチャープドグレーティング素子を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]一実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子の縦断面図及び横断面図である。

[図2]図1に示すファイバチャープドグレーティング素子が備えるコアの屈折率分布を示すグラフである。

[図3]図1に示すファイバチャープドグレーティング素子が備えるコアに入射した光に含まれる、波長1062.5nm, 1063.5nm, 1064.5nm, 1065.5nmの成分波のパワー分布を示すグラフである。

[図4]第1の実施例、第2の実施例、及び比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子におけるグレーティングのピッチを定める2次関数 $\Lambda_1(z)$ 、2次関数 $\Lambda_2(z)$ 、及び1次関数 $\Lambda_0(z)$ のグラフである。

[図5]第1の実施例、第2の実施例、及び比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子の透過スペクトルを示すグラフである。

[図6]第2の実施例及び比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子の発熱量分布を示すグラフである。

[図7]一変形例に係るファイバチャープドグレーティング素子の縦断面図及び横断面図である。

[図8]図1に示すファイバチャープドグレーティング素子に入射した光の進路を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0013] [ファイバチャープドグレーティング素子の構成]

本発明の一実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子1の構成について、図1を参照して説明する。図1は、ファイバチャープドグレーティング素子1の縦断面図（左側）及び横断面図（右側）である。

[0014] ファイバチャープドグレーティング素子1は、図1に示すように、円柱状のコア11と、コア11を取り囲む円筒状のクラッド12とを備えた光ファイバ型の素子である。クラッド12の屈折率 n_{clad} は、コア11の屈折率 n_{core} よりも低く、一方の端面1Aを介してコア11に入射した光は、コア11の

内部を伝播し、他方の端面1 Bを介してコア1 1から出射する。なお、ファイバチャープドグレーティング素子1は、クラッド1 2を取り囲む円筒状の被覆（不図示）を備えていてもよい。

- [0015] ファイバチャープドグレーティング素子1のコア1 1には、図1に示すように、コア1 1の中心軸に沿って並んだ複数の高屈折率領域1 1 a 1～1 1 a 1 0からなるグレーティング1 1 aが書き込まれている。各高屈折率領域1 1 a i（ $i = 1, 2, \dots, 10$ ）は、屈折率がコア1 1の基材屈折率（高屈折率領域1 1 a 1～1 1 a 1 0以外の領域の屈折率） n_0 よりも高い円柱状の領域である。各高屈折率領域1 1 a iの屈折率については、参照する図面を代えて後述する。
- [0016] グレーティング1 1 aのピッチ $\Lambda_1 \sim \Lambda_9$ は、図1に示すように、端面1 Aから遠ざかるに従って大きくなる。ここで、各ピッチ Λ_i は、端面1 Aから各高屈折率領域1 1 a iの中心までの距離を z_i としたときに、 $\Lambda_i = z_{i+1} - z_i$ により定義される量であり、隣接する2つの高屈折率領域1 1 a i, 1 1 a i+1の中心間隔を表す。従来のファイバチャープドグレーティング素子においては、グレーティング1 1 aのピッチ $\Lambda_1 \sim \Lambda_9$ が端面1 Aから遠ざかるに従って1次関数的に増加する。より正確に言えば、 $\Lambda(z_i) = \Lambda_i$ を満たす関数 $\Lambda(z)$ が z の1次関数 $\Lambda(z) = \alpha_0 + \alpha_1 z$ （ α_0, α_1 は定数）で与えられる。これに対して、本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子1においては、グレーティング1 1 aのピッチ $\Lambda_1 \sim \Lambda_9$ が端面1 Aから遠ざかるに従って2次関数的に増加する。より正確に言えば、 $\Lambda(z_i) = \Lambda_i$ を満たす関数 $\Lambda(z)$ が z の2次関数 $\Lambda(z) = \alpha_0 + \alpha_1 z + \alpha_2 z^2$ （ $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ は定数）で与えられる。なお、高屈折率領域1 1 a iの厚み D_i は、比 D_i / Λ_i が一定（図示した例では0.5）になるように決める。
- [0017] ファイバチャープドグレーティング素子1により反射される光の波長帯域は、ピッチ一定（ Λ とする）のグレーティングが書き込まれた通常のファイバブラッググレーティング素子により反射される光の波長帯域よりも広くな

る。なぜなら、通常のファイバブラッググレーティング素子のグレーティングは、波長が $2n\Lambda$ （ n は整数）となる光を選択的に反射するのに対し、ファイバチャープドグレーティング素子1のグレーティング11aは、波長が $2n\Lambda_1$ 以上 $2n\Lambda_9$ 以下となる光を選択的に反射するからである。

[0018] なお、ファイバチャープドグレーティング素子1へのグレーティング11aの書き込みは、通常のファイバブラッググレーティング素子へのグレーティングの書き込みと同様の方法で実現することができる。すなわち、まず、ゲルマニウム等の光（紫外線）感受性を有する元素がコア11に添加された光ファイバを製造し、次に、この光ファイバにおいて高屈折率領域11a1～11a10を形成すべき領域に対して紫外線を選択的に照射する。ここで、各高屈折率領域11aiの屈折率は、その高屈折率領域11aiを形成すべき領域に照射する紫外線量を増やせば高くなり、その高屈折率領域11aiを形成すべき領域に照射する紫外線の量を減らせば低くなる。したがって、各高屈折率領域11aiの屈折率を目標屈折率とするためには、その領域に照射する紫外線の強度やその領域に紫外線を照射する時間を調整し、その高屈折率領域11aiを形成すべき領域に照射される紫外線量を目標屈折率に応じた量にすればよい。

[0019] [コアの屈折率分布]

次に、ファイバチャープドグレーティング素子1が備えるコア11の屈折率分布について、図2を参照して説明する。図2は、コア11の屈折率分布を示すグラフである。図2に示すグラフにおいて、横軸は、ファイバチャープドグレーティング素子1の一方の端面1Aからの距離 z を示し、縦軸は、コアの屈折率 n_{core} を示す。

[0020] グレーティング11aの屈折率差 Δn_i は、図2に示すように、ファイバチャープドグレーティング素子1の一方の端面1Aから遠ざかるに従って大きくなる。ここで、屈折率差 Δn_i は、各高屈折率領域11aiにおける最大屈折率を n_i 、コア11の基材屈折率を n_0 としたときに、 $\Delta n_i = n_i - n_0$ により定義される量である。従来のファイバチャープドグレーティン

グ素子においては、グレーティング11aの屈折率差 $n_{11} \sim n_{10}$ が一定である。これに対して、本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子1においては、グレーティング11aの屈折率差 $n_{11} \sim n_{10}$ が端面1Aから遠ざかるに従って1次関数的に増加する。より正確に言えば、 $\Delta n(z_i) = \Delta i$ を満たす関数 $\Delta n(z)$ が z の一次関数 $\Delta n(z) = \beta_0 + \beta_1 z$ (β_0, β_1 は定数)で与えられる。

[0021] このような屈折率分布を採用することによる効果を以下に説明する。ここでは、簡単のために、 $\lambda_{11} = 2 \Lambda_{11}$ 以上 $\lambda_{99} = 2 \Lambda_{99}$ 以下の波長帯域の光を、ファイバチャープドグレーティング素子1の一方の端面1Aからコア11に入射させた場合を考える。

[0022] ファイバチャープドグレーティング素子1においては、グレーティング11aのピッチ $\Lambda_{11} \sim \Lambda_{99}$ が端面1Aから遠ざかるに従って大きくなる構成が採用されている。そのため、端面1Aからコア11に入射した光は、波長の短い成分波ほど端面1Aに近い領域において反射される。換言すれば、波長の長い成分波ほど端面1Aから遠い領域にまで到達する。例えば、端面1Aからコア11に入射した光に含まれる、波長1062.5nm, 1063.5nm, 1064.5nm, 1065.5nmの成分波のパワー分布を図示すれば、図3のようになる。したがって、コア11における光のパワー密度は、端面1Aにおいて最大になり、端面1Aから遠ざかるに従って小さくなる。

[0023] 従来のファイバチャープドグレーティング素子においては、グレーティング11aの屈折率差 $\Delta n_{11} \sim \Delta n_{10}$ を一定とする構成が採用されている。このため、高屈折率領域11a1～11a10における発熱量は、端面1Aに最も近い高屈折率領域11a1において最大になり、端面1Aから遠ざかるに従って小さくなる。これに対して、本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子1においては、グレーティング11aの屈折率差 $\Delta n_{11} \sim \Delta n_{10}$ を端面1Aから遠ざかるに従って1次関数的に増加させる(端面1Aに近づくに従って1次関数的に減少させる)構成が採用されている。

[0024] このため、端面1Aから入射する光のパワーが同じであれば、端面1Aに近い高屈折率領域11a_i（例えば、 $i = 1, 2, 3$ ）における発熱量は、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも少なくなる。また、端面1Aから遠い高屈折率領域11a_i（例えば、 $i = 10, 9, 8$ ）における発熱量は、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも多くなる。なぜなら、単位パワー密度の光が入射したときの各高屈折率領域に11a_iにおける発熱量は、その高屈折率領域11a_iに含まれる欠陥（屈折率差 Δn_i を与えるための紫外線照射の際に生じる欠陥）の数に相関するところ、端面1Aに近い高屈折率領域11a_iにおいては、照射する紫外線量が相対的に少ないため、含まれる欠陥の数も相対的に少なくなり、端面1Aから遠い高屈折率領域11a_iにおいては、照射する紫外線量が相対的に多く、含まれる欠陥の数も相対的に多くなるためである。

[0025] したがって、本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子1における発熱量の分布は、従来のファイバチャープドグレーティング素子における発熱量の分布よりも、平均化された（一様化された）分布となる。このため、端面1Aに近い高屈折率領域11a_i（特に、最も端面1Aに近い高屈折率領域11a₁）の温度を、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも低くすることができる。その結果、ファイバチャープドグレーティング素子1の信頼性を、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも高くすることができる。

[0026] 〔実施例〕

まず、グレーティング11aのピッチ Λ_i を図4のグラフに示す2次関数 $\Lambda_1(z)$ により定めたファイバチャープドグレーティング素子1を第1の実施例として作成した。第1の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1において、コア11の直径は $20\mu\text{m}$ であり、コア11を伝播する光に対するコア11の実効屈折率は1.45であり、グレーティング11aを構成する高屈折率領域11a_iの個数は約55000個である。第1の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1においては、グレー

ティング11aの屈折率差 Δn_i を、 $\Delta n(z_{out}) / \Delta n(z_{in}) = 1.16$ を満たす1次関数 $n(z)$ により定めた。ここで、 z_{in} は、ファイバチャープドグレーティング素子1の入射端面1Aから、入射端面1Aに最も近い高屈折率領域11a1までの距離である。また、 z_{out} は、入射端面1Aから、出射端面1Bに最も近い高屈折率領域11aN(Nはグレーティング11aを構成する高屈折率領域11aiの個数)までの距離である。

[0027] また、グレーティング11aのピッチ Λ_i を図4のグラフに示す2次関数 $\Lambda_2(z)$ により定めたファイバチャープドグレーティング素子1を第2の実施例として作成した。第2の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1において、コア11の直径は $20\mu\text{m}$ であり、コア11を伝播する光に対するコア11の実効屈折率は1.45であり、グレーティング11aを構成する高屈折率領域11aiの個数は約55000個である。第2の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1においては、グレーティング11aの屈折率差 Δn_i を、 $\Delta n(z_{out}) / \Delta n(z_{in}) = 1.29$ を満たす1次関数 $n(z)$ により定めた。

[0028] また、グレーティングのピッチ Λ_i を図4のグラフに示す1次関数 $\Lambda_0(z)$ により定めたファイバチャープドグレーティング素子を比較例として作成した。比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子において、コアの直径は $20\mu\text{m}$ であり、コア11を伝播する光に対するコア11の実効屈折率は1.45であり、グレーティングを構成する高屈折率領域の個数は約55000個である。比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子においては、グレーティングの屈折率差 Δn_i を、一定とした。

[0029] 図5は、第1の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1、第2の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1、及び、比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子の透過スペクトルを示すグラフである。

[0030] 図5に示すグラフによれば、第1の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1、及び、第2の実施例に係るファイバチャープドグレーテ

ィング素子1は、比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子と同等の透過スペクトルを有していることが分かる。すなわち、グレーティング11aのピッチ Λ_i を2次関数的に増加させ、グレーティング11aの屈折率差 Δn_i を1次関数的に増加させる構成を採用しても、光学特性の劣化を生じないことが確かめられる。

[0031] 図6は、第2の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1、及び、比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子の発熱量分布を示すグラフである。図6においては、比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子の発熱量として、最大値が100%となるように規格化した発熱量を示している。また、図6においては、第2の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1の発熱量として、総発熱量が比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子の総発熱量と一致するように規格化した発熱量を示している。

[0032] 図6に示すグラフによれば、第2の実施例に係るファイバチャープドグレーティング素子1は、比較例に係るファイバチャープドグレーティング素子と比べて、端面Aに近い領域における発熱量が小さくなり、その結果、最大発熱量が小さくなることが確かめられる。

[0033] [変形例]

最後に、ファイバチャープドグレーティング素子1の変形例について、図7を参照して説明する。図7は、本変形例に係るファイバチャープドグレーティング素子1の縦断面図（左側）及び横断面図（右側）である。

[0034] 本変形例に係るファイバチャープドグレーティング素子1においては、グレーティング11aを構成する高屈折率領域11aiの屈折率差 Δn_i を端面1Aから遠ざかるに従って大きくする構成に代えて、グレーティング11aを構成する高屈折率領域11aiの厚み D_i を端面1Aから遠ざかるに従って大きくする構成が採用されている。図示した例では、比 D_i/Λ_i が $D_{10}/\Lambda_{10}=0.3$ から $D_{10}/\Lambda_{10}=0.5$ まで端面1Aから遠ざかるに従って大きくなる。

[0035] この場合でも、端面1 Aから入射する光のパワーが同じであれば、端面1 Aに近い高屈折率領域1 1 a i（例えば、 $i = 1, 2, 3$ ）における発熱量は、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも少なくなる。また、端面1 Aから遠い高屈折率領域1 1 a i（例えば、 $i = 10, 9, 8$ ）における発熱量は、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも多くなる。なぜなら、単位パワー密度の光が入射したときの各高屈折率領域1 1 a iにおける発熱量は、その高屈折率領域1 1 a iに含まれる欠陥（屈折率差 Δn_i を与えるための紫外線照射の際に生じる欠陥）の数に相関するところ、端面1 Aに近い高屈折率領域1 1 a iにおいては、厚み D_i が相対的に薄いため、含まれる欠陥の数も相対的に少なくなり、端面1 Aから遠い高屈折率領域1 1 a iにおいては、厚み D_i が相対的に厚いため、含まれる欠陥の数も相対的に多くなるためである。

[0036] したがって、本変形例に係るファイバチャープドグレーティング素子1における発熱量の分布も、従来のファイバチャープドグレーティング素子における発熱量の分布よりも、平均化された（一様化された）分布となる。このため、端面1 Aに近い高屈折率領域1 1 a i（特に、最も端面1 Aに近い高屈折率領域1 1 a 1）の温度を、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも低くすることができる。その結果、ファイバチャープドグレーティング素子1の信頼性を、従来のファイバチャープドグレーティング素子よりも高くすることができる。

[0037] [応用例]

ファイバレーザは、（1）増幅用光ファイバと、（2）増幅用光ファイバの一端に接続されたミラー素子と、（3）増幅用光ファイバの他端に接続されたハーフミラー素子と、（4）ミラー素子を介して増幅用光ファイバに接続された励起光源と、（5）ハーフミラー素子を介して増幅用光ファイバに接続された出力用光ファイバとにより構成される。ミラー素子の反射波長帯域とハーフミラー素子の反射波長帯域とは、共通部分（以下、「共通反射帯域」と記載する）を持つ。

[0038] 増幅用光ファイバのコアには、希土類元素が添加されており、この希土類元素は、励起光源からの励起光を吸収し反転分布状態に遷移する。そして、反転分布状態に遷移した希土類元素に、信号光又は自然放出光が入射すると、レーザ光が誘導放出される。上述した共通反射帯域内の波長を有するレーザ光は、ミラー素子とハーフミラー素子とに挟まれたキャビティ内を往復する過程で再帰的に増幅され、その一部が、ハーフミラー素子を介して出力用光ファイバに供給される。

[0039] このようなファイバレーザのミラー素子及びハーフミラー素子の一方又は両方として、ファイバチャープドグレーティング素子1を用いることができる。これにより、非線形光学効果の発生を抑えるべく、ファイバレーザの発振波長を広帯域化した場合であっても、レーザ光をキャビティ内で往復させるべく、ミラー素子及びハーフミラー素子においてレーザ光を所望の反射率で反射させることができる。ミラー素子又はハーフミラー素子として用いるファイバチャープドグレーティング素子1について、以下のことがいえる。

[0040] (1) ファイバチャープドグレーティング素子1の向き

ファイバチャープドグレーティング素子1の端面のうち、グレーティング11aのピッチ Λ_i が狭い方の端面1Aを増幅用光ファイバに接続する構成を構成Aとする。また、ファイバチャープドグレーティング素子1の端面のうち、グレーティング11aのピッチ Λ_i が広い方の端面1Aを増幅用光ファイバに接続する構成を構成Bとする。このとき、構成Aを採用する方が構成Bを採用するよりも、散乱による光の損失が小さくなる。

[0041] 構成Aを採用することによって、散乱による光の損失を小さくできる理由は、以下のとおりである。上述したように、増幅用光ファイバからの入射光は、共通反射帯域に属する波長を有する。したがって、増幅用光ファイバからの入射光は、図8に示すように、グレーティング11a特定の領域A2において波長の短いものから順に反射される。したがって、ファイバチャープドグレーティング素子1は、増幅用光ファイバ側から順に、(1)増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光が反射されることなく伝播する第

1領域A1と、(2)増幅用ファイバから入射する発振波長のレーザ光に対する反射が生じる第2領域(上述した特定の領域と同じ)A2と、(3)増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光のうち、第2領域A2において反射されずに残ったレーザ光が反射されることなく伝播する第3領域A3とに分けられる。このとき、入射光及び反射光の双方が存在する第1領域A1の光密度は、レーザ光(の一部)のみが存在する第3領域A3の光密度よりも高くなる。このため、上記の構成Aを採用する方が、上記の構成Bを採用するよりも、光密度の高い第1領域A1におけるグレーティング11aのピッチ Λ_i を狭くすることができる。ところで、ピッチの狭いグレーティング(ピッチに対して光の波長が長い)の方が、ピッチの広いグレーティング(ピッチに対して光の波長が短い)よりも、散乱による光の損失が生じ難い。したがって、上記の構成Aを採用する方が、上記の構成Bを採用するよりも、散乱による光の損失を小さくすることができる。

[0042] (2) コアの屈折率分布

ミラー素子又はハーフミラー素子として用いるファイバチャープドグレーティング素子1が備えるコア11の屈折率分布は、上述した第2領域A2に含まれる高屈折率領域11a1~11anの平均屈折率が全ての高屈折率領域11a1~11aNの平均屈折率よりも低いことが好ましい。

[0043] 上記の屈折率分布を採用することによって、ファイバチャープドグレーティング素子1の温度を通常ファイバブラッググレーティング素子(各高屈折率領域の屈折率がファイバチャープドグレーティング素子1の全ての高屈折率領域11a1~11aNの平均屈折率と等しいものとする)の温度よりも低く抑えることができる。なぜなら、反射光が存在する領域における高屈折率領域の平均屈折率は、上記の屈折率分布を採用したファイバチャープドグレーティング素子1の方が、通常ファイバブラッググレーティング素子よりも低くなる。その結果、反射光が高屈折率領域に吸収されることにより生じる熱も、上記の屈折率分布を採用したファイバチャープドグレーティング素子1の方が、通常ファイバブラッググレーティング素子よりも小さく

なるからである。

[0044] 本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子(1)は、屈折率が n_0 であるコアに屈折率が n_i ($n_i > n_0$)である高屈折率領域(11a)からなるグレーティング(11a)が書き込まれたファイバチャープドグレーティング素子(1)であって、上記グレーティング(11a)のピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子(1)の一方の端面(1A)から遠ざかるに従って大きくなり、上記グレーティング(11a)の屈折率差 $\Delta n_i = n_i - n_0$ は、当該ファイバチャープドグレーティング素子(1)の上記一方の端面(1A)から遠ざかるに従って大きくなる、ことを特徴とする。

[0045] 本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子(1)は、屈折率が n_0 であるコアに屈折率が n_i ($n_i > n_0$)である高屈折率領域(11a)からなるグレーティング(11a)が書き込まれたファイバチャープドグレーティング素子(1)であって、上記グレーティング(11a)のピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子(1)の一方の端面(1A)から遠ざかるに従って大きくなり、上記高屈折率領域(11a)の厚み D_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子(1)の一方の端面(1A)から遠ざかるに従って大きくなる、ことを特徴とする。

[0046] 上記の構成によれば、上記一方の端面(1A)から光を入射させたときに、当該端面(1A)近傍における発熱量を、グレーティング(11a)の屈折率差が一定である従来のファイバチャープドグレーティング素子(1)よりも小さくすることができる。

[0047] 本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子(1)においては、上記ピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子(1)の上記一方の端面(1A)から遠ざかるに従って2次関数的に増加する、ことが好ましく、上記屈折率差 Δn_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子(1)の上記一方の端面(1A)から遠ざかるに従って1次関数的に増加する、ことが好ましい。

[0048] 上記の構成によれば、光学特性（特に透過スペクトル）を従来のファイバチャープドグレーティング素子（1）と同等に保ちながら、上記一方の端面（1A）から光を入射させたときに、当該端面（1A）近傍における発熱量を、従来のファイバチャープドグレーティング素子（1）よりも小さくすることができる。

[0049] なお、本実施形態に係るファイバチャープドグレーティング素子（1）は、ファイバレーザにおけるミラー又はハーフミラーとして利用することができる。すなわち、増幅用光ファイバの両端に、それぞれ上記ファイバチャープドグレーティング素子（1）（一方はミラーとして、他方はハーフミラーとして利用）を接続したファイバレーザも、本発明の範疇に含まれる。

[0050] この場合、上記ファイバチャープドグレーティング素子（1）において、（1）上記増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光が反射されることなく伝播する領域を第1領域、（2）上記増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光に対する反射が生じる領域を第2領域、（3）上記増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光のうち、上記第2領域において反射されずに残ったレーザ光が反射されることなく伝播する領域を第3領域として、第2領域に含まれる高屈折率領域（11a i）の平均屈折率は、全ての高屈折率領域（11a i）の平均屈折率よりも低い、ことが好ましい。

[0051] 上記の構成によれば、上記ファイバチャープドグレーティング素子（1）の温度を通常のファイバブラッググレーティング素子（各高屈折率領域（11a i）の屈折率が上記ファイバチャープドグレーティング素子（1）の全ての高屈折率領域（11a i）の平均屈折率と等しいものとする）の温度よりも低く抑えることができる。

[0052] 〔付記事項〕

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲

に含まれる。

符号の説明

[0053]	1	ファイバチャープドグレーティング素子
	1 A、1 B	端面
	1 1	コア
	1 1 a	グレーティング
	1 1 a i	高屈折率領域
	1 2	クラッド

請求の範囲

- [請求項1] 屈折率が n_0 であるコアに屈折率が n_i ($n_i > n_0$)である高屈折率領域からなるグレーティングが書き込まれたファイバチャープドグレーティング素子であって、
- 上記グレーティングのピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の一方の端面から遠ざかるに従って大きくなり、
- 上記グレーティングの屈折率差 $\Delta n_i = n_i - n_0$ は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の上記一方の端面から遠ざかるに従って大きくなる、
- ことを特徴とするファイバチャープドグレーティング素子。
- [請求項2] 上記ピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の上記一方の端面から遠ざかるに従って2次関数的に増加する、
- ことを特徴とする請求項1に記載のファイバチャープドグレーティング素子。
- [請求項3] 上記屈折率差 Δn_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の上記一方の端面から遠ざかるに従って1次関数的に増加する、
- ことを特徴とする請求項2に記載のファイバチャープドグレーティング素子。
- [請求項4] 屈折率が n_0 であるコアに屈折率が n_i ($n_i > n_0$)である高屈折率領域からなるグレーティングが書き込まれたファイバチャープドグレーティング素子であって、
- 上記グレーティングのピッチ Λ_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の一方の端面から遠ざかるに従って大きくなり、
- 上記高屈折率領域の厚み D_i は、当該ファイバチャープドグレーティング素子の一方の端面から遠ざかるに従って大きくなる、
- ことを特徴とするファイバチャープドグレーティング素子。
- [請求項5] 増幅用光ファイバの一端又は両端に、請求項1～4の何れか1項に記載のファイバチャープドグレーティング素子がそれぞれ接続されて

いる、

ことを特徴とするファイバレーザ。

[請求項6]

上記ファイバチャープドグレーティング素子において、（１）上記増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光が反射されることなく伝播する領域を第１領域、（２）上記増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光に対する反射が生じる領域を第２領域、（３）上記増幅用光ファイバから入射する発振波長のレーザ光のうち、上記第２領域において反射されずに残ったレーザ光が反射されることなく伝播する領域を第３領域として、

第２領域に含まれる高屈折率領域の平均屈折率は、全ての高屈折率領域の平均屈折率よりも低い、

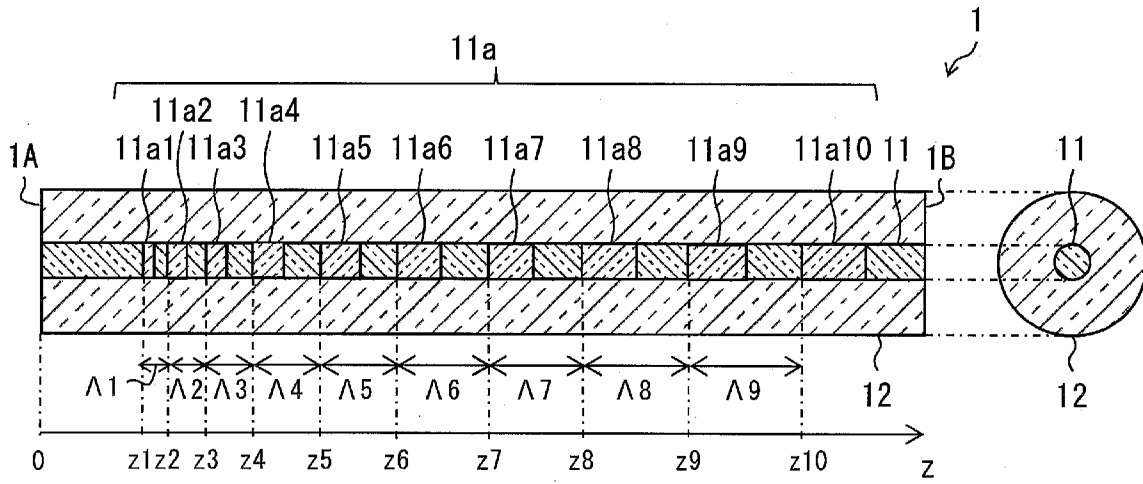
ことを特徴とする請求項５に記載のファイバレーザ。

要 約 書

従来よりも入射端面近傍における発熱量の小さいファイバチャープドグレーティング素子を実現する。グレーティング (11 a) のピッチ Λ_i を、一方の端面 (1 A) から遠ざかるに従って大きくすると共に、グレーティング (11 a) の屈折率差 Δn_i を、端面 (1 A) から遠ざかるに従って大きくする。

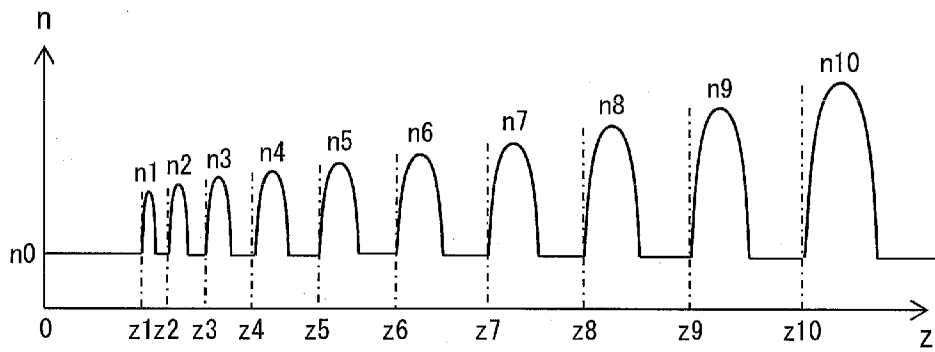
[図1]

図 1



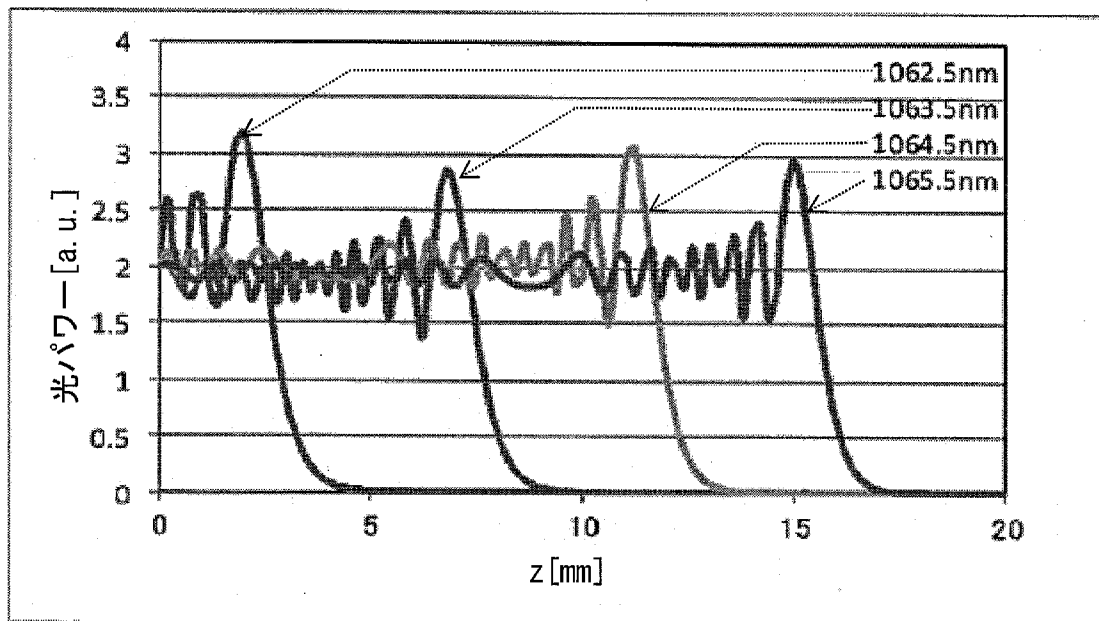
[図2]

図 2



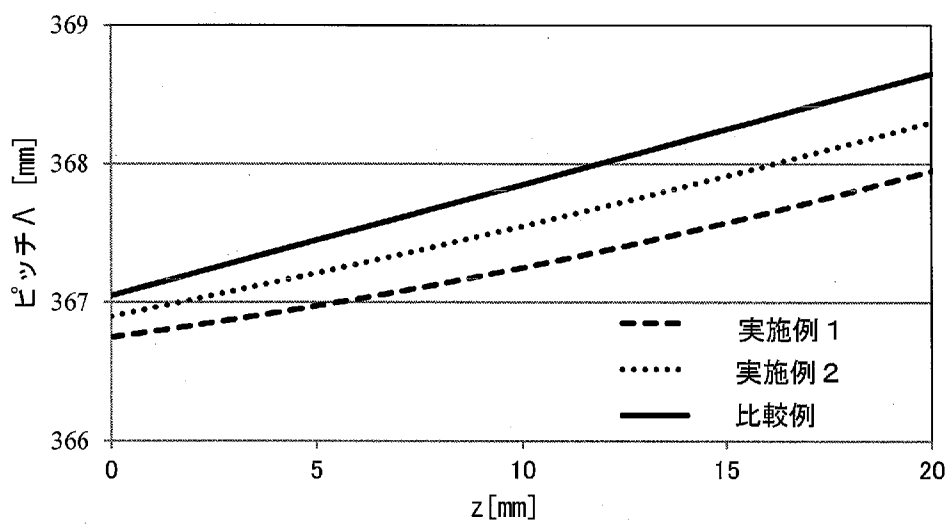
[図3]

図 3



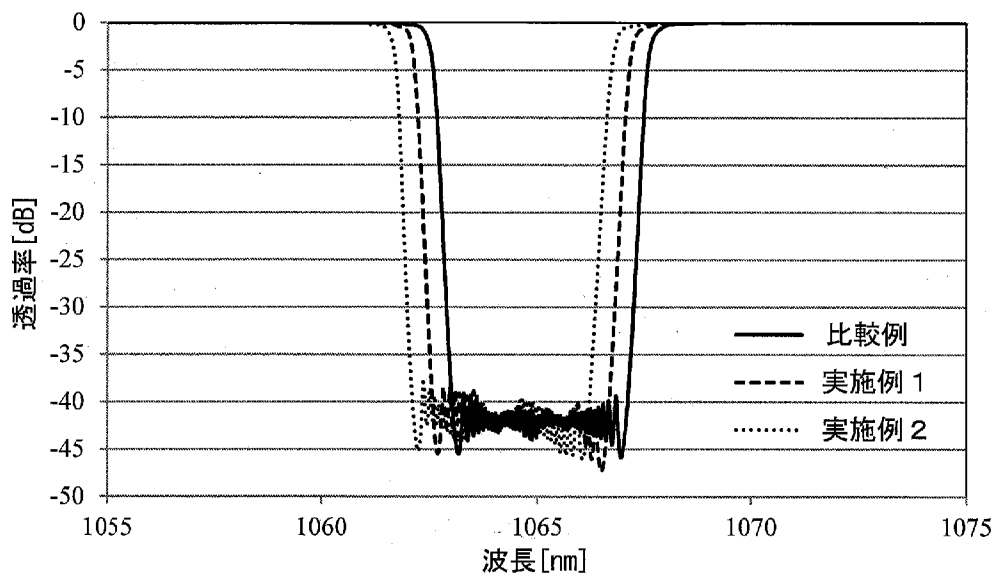
[図4]

図 4



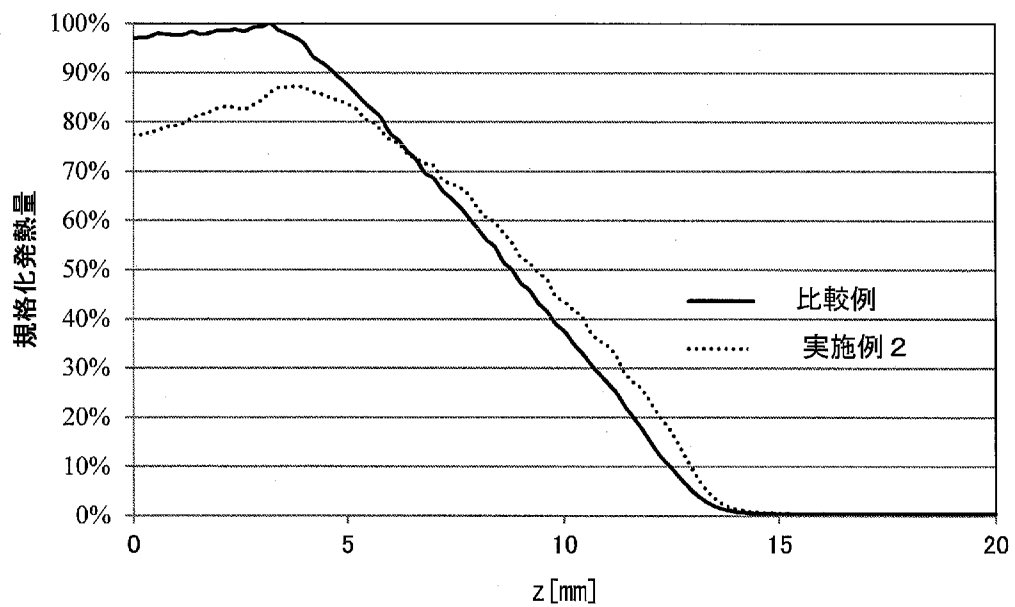
[図5]

図 5



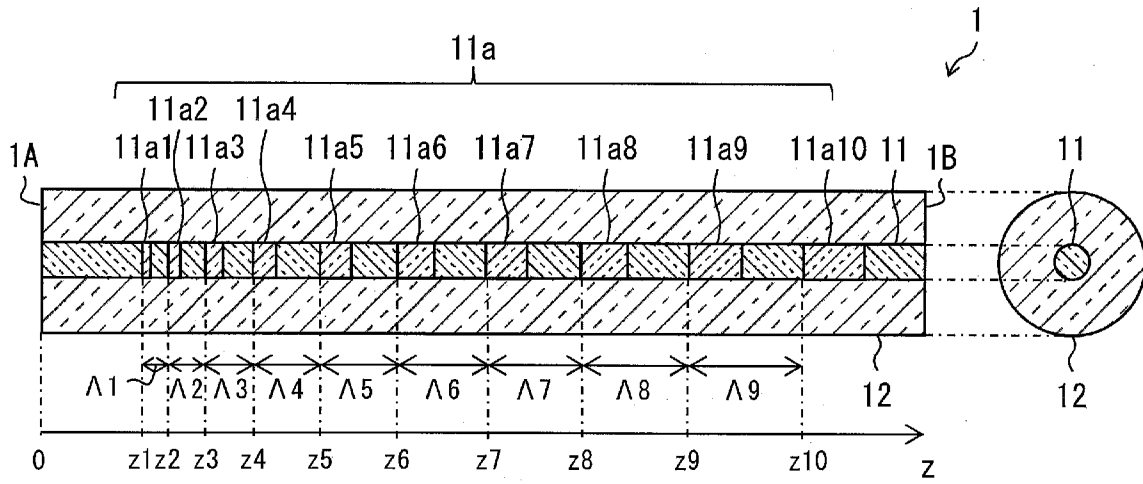
[図6]

図 6



[図7]

図 7



[図8]

図 8

