

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-526330
(P2004-526330A)

(43) 公表日 平成16年8月26日(2004.8.26)

(51) Int.C1.⁷H01S 3/16
H01S 3/06

F 1

H01S 3/16
H01S 3/06

テーマコード(参考)

5 F 1 7 2

B

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 46 頁)

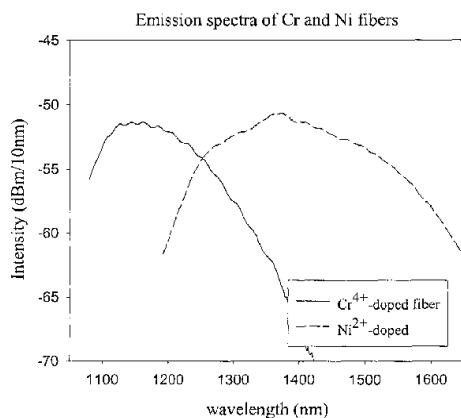
(21) 出願番号	特願2002-588677 (P2002-588677)	(71) 出願人	397068274 コーニング インコーポレイテッド アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 31 コーニング リヴァーフロント プ ラザ 1
(86) (22) 出願日	平成14年5月1日 (2002.5.1)	(74) 代理人	100073184 弁理士 柳田 征史
(85) 翻訳文提出日	平成15年11月4日 (2003.11.4)	(74) 代理人	100090468 弁理士 佐久間 剛
(86) 國際出願番号	PCT/US2002/014000	(72) 発明者	ビール, ジョージ エイチ アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 14 ビッグ フラツ ワッドランド ドライブ 16
(87) 國際公開番号	WO2002/091530		
(87) 國際公開日	平成14年11月14日 (2002.11.14)		
(31) 優先権主張番号	60/288,518		
(32) 優先日	平成13年5月3日 (2001.5.3)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		
(81) 指定国	EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, F1, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), AE, AG, AL, AM, AT, AU, A Z, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, F1, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP , KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, M N, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】遷移金属イオンを含む広帯域光源

(57) 【要約】

1つまたはそれより多くの媒質材料にドープされている1種またはそれより多くの遷移金属イオン種からの、少なくとも1つ、好ましくは2つまたはそれより多くの広帯域発光スペクトルを複合して利用する、広帯域光源及び広帯域光源を組み込むことができる関連デバイス。媒質は、結晶、ガラス-セラミック、ガラスまたは有機高分子材料から選ばれる。広帯域光源またはデバイスは非常に広い発光スペクトルを発生できる。複合スペクトルは、近赤外領域範囲すなわち近赤外部にわたり、約500 nmから600 nmないし700 nmの波長帯域を有し、平均強度からの偏差が約10 dBをこえない強度を有することが好ましい。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

1つまたはそれより多くの遷移金属イオン種または希土類金属イオン種を含有する少なくとも1つの媒質を含む広帯域光源において、光エネルギーを注入されたときに、近赤外領域において、少なくとも約150～250nmの帯域幅をもつ広い出力スペクトルを発生することを特徴とする光源。

【請求項 2】

1つまたはそれより多くの遷移金属イオン種を含有する少なくとも1つの媒質を含む広帯域光源において、光エネルギーを注入されたときに、近赤外領域において、平均強度からの偏差が±10dBをこえない強度をもつ広い複合出力スペクトルを発生することを特徴とする光源。 10

【請求項 3】

前記媒質が1つより多い遷移金属イオン種を含有する場合に、前記光源が光学的に活性化されたときに、近赤外領域において広い複合出力スペクトルを発生することを特徴とする請求項1に記載の光源。

【請求項 4】

結晶、ガラス・セラミック、ガラス及び有機高分子マトリクスからなる群から選ばれる材料を含むことを特徴とする請求項1に記載の光源。

【請求項 5】

ガラス・セラミック材料を含むことを特徴とする請求項1に記載の光源。 20

【請求項 6】

前記材料が透明フォルステライトであることを特徴とする請求項4に記載の光源。

【請求項 7】

前記材料が透明ガリウム酸塩スピネルであることを特徴とする請求項4に記載の光源。

【請求項 8】

前記材料が透明ウィレマイトであることを特徴とする請求項4に記載の光源。

【請求項 9】

前記光源が光コンポーネントデバイスに組み込まれていることを特徴とする請求項1に記載の光源。

【請求項 10】

前記デバイスが光導波路であることを特徴とする請求項9に記載の光源。 30

【請求項 11】

前記デバイスが光ファイバであることを特徴とする請求項9に記載の光源。

【請求項 12】

前記デバイスが増幅器であることを特徴とする請求項9に記載の光源。

【請求項 13】

前記デバイスが光エネルギー注入デバイスであることを特徴とする請求項9に記載の光源。

【請求項 14】

前記デバイスがOCTまたはODRに使用されることを特徴とする請求項9に記載の光源。 40

【請求項 15】

前記遷移金属イオンが、 Co^{3+} 、 Cr^{3+} 、 Cr^{4+} 、 Cu^{2+} 、 Cu^+ 、 Ni^{2+} 、 Ti^{3+} 及び V^{2+} からなる群から選ばれることを特徴とする請求項1に記載の光源。

【請求項 16】

前記光源が、約800nmから約1800nmの間で、比較的一様な強度をもつ複合出力スペクトルを発生することを特徴とする請求項1に記載の光源。

【請求項 17】

前記光源が、約1050nmから約1580nmの間で、比較的一様な強度をもつ複合出力スペクトルを発生することを特徴とする請求項16に記載の光源。 50

【請求項 18】

前記光源が前記媒質内に希土類金属イオンをさらに含むことを特徴とする請求項2に記載の光源。

【請求項 19】

前記希土類金属イオンが、Er, Tm, PrまたはNdを含むことを特徴とする請求項18に記載の光源。

【請求項 20】

1つまたはそれより多くの遷移金属イオン種を含有する少なくとも1つの媒質を含む広帯域光源デバイスにおいて、前記デバイスが、光エネルギーを注入されたときに、近赤外領域において広い出力スペクトルを発生することを特徴とするデバイス。

10

【請求項 21】

前記媒質が1つより多くの遷移金属イオン種を含有する場合に、前記デバイスが、平均強度からの偏差が±10dBをこえない強度をもつ複合出力スペクトルを発生することを特徴とする請求項20に記載のデバイス。

【請求項 22】

結晶、ガラス-セラミック、ガラス及び有機高分子マトリクスからなる群から選ばれる材料から作られた媒質を有することを特徴とする請求項20に記載のデバイス。

20

【請求項 23】

ガラス-セラミック材料から作られた媒質を有することを特徴とする請求項20に記載のデバイス。

【請求項 24】

前記デバイスが光コンポーネントデバイスであることを特徴とする請求項20に記載のデバイス。

【請求項 25】

前記デバイスが光導波路であることを特徴とする請求項23に記載のデバイス。

【請求項 26】

前記デバイスが光ファイバであることを特徴とする請求項23に記載のデバイス。

【請求項 27】

前記デバイスが増幅器であることを特徴とする請求項23に記載のデバイス。

30

【請求項 28】

前記デバイスが光エネルギー注入デバイスであることを特徴とする請求項23に記載のデバイス。

【請求項 29】

OCCTまたはOCDRに用いられることを特徴とする請求項23に記載のデバイス。

【請求項 30】

前記遷移金属イオンが、Co³⁺, Cr³⁺, Cr⁴⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Ti³⁺及びV²⁺からなる群から選ばれることを特徴とする請求項20に記載のデバイス。

40

【請求項 31】

約800nmから約1800nmの間で、比較的一様な強度をもつ複合出力スペクトルを発生することを特徴とする請求項20に記載のデバイス。

【請求項 32】

約1050nmから約1580nmの間で、比較的一様な強度をもつ複合出力スペクトルを発生することを特徴とする請求項31に記載のデバイス。

【請求項 33】

前記媒質内に希土類金属イオンをさらに含有することを特徴とする請求項20に記載のデバイス。

【請求項 34】

前記希土類金属イオンが、Er, Tm, PrまたはNdを含むことを特徴とする請求項33に記載のデバイス。

【請求項 35】

50

広い、連立する波長範囲を有するデバイスであって、幅が少なくとも 150 ~ 200 nm 程度の比較的広帯域の発光を示す遷移金属イオンがドープされた材料を含む前記デバイスにおいて、約 800 nm から約 1800 nm の範囲にわたり、平均強度からの偏差が ± 約 10 dB をこえない強度を有する複合スペクトルを放射することを特徴とするデバイス。

【請求項 3 6】

前記強度の前記平均強度からの偏差が約 5 dB をこえないことを特徴とする請求項 3 5 に記載のデバイス。

【請求項 3 7】

広帯域光源デバイスを作成するための方法において、遷移金属イオンを含有する少なくとも 1 つの材料を提供する工程、前記材料から光コンポーネントを形成する工程、前記材料内の前記遷移金属イオンにエネルギーを注入する工程、および約 700 nm 以上のスペクトル領域において、平均強度からの偏差が ± 約 10 dB をこえない強度を有する、広帯域の複合発光を放射する工程、を含むことを特徴とする方法。

【請求項 3 8】

同じ種類の遷移金属イオンがドープされた 1 つまたは複数の媒質として 2 つの相異なる基体材料を提供する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 3 7 に記載の方法。

【請求項 3 9】

1 つより多くの遷移金属イオン種を含有する 2 つまたはそれより多くの媒質材料を提供する工程をさらに含むことを特徴とする請求項 3 7 に記載の方法。

【請求項 4 0】

光放射を発生する方法において、少なくとも 1 つまたはそれより多くの遷移金属イオン種を有する少なくとも 1 つの媒質材料を提供する工程と、近赤外領域において、比較的一様な強度をもつ、比較的広帯域の複合出力スペクトルを発生させるために前記媒質にエネルギーを注入する工程とを含むことを特徴とする方法。

【請求項 4 1】

約 900 ~ 1560 nm の間のスペクトル範囲において、平均強度からの偏差が ± 約 10 dB をこえない強度を有する放射を発生する工程をさらに含み得ることを特徴とする請求項 4 0 に記載の方法。

【請求項 4 2】

結晶、ガラス - セラミック、ガラス及び有機高分子マトリクスからなる群から選ばれた材料から作られた媒質を提供する工程をさらに含み得ることを特徴とする請求項 4 0 に記載の方法。

【請求項 4 3】

Co^{3+} , Cr^{3+} , Cr^{4+} , Ni^{2+} , Ti^{3+} 及び V^{2+} からなる群から選ばれる遷移金属イオンを前記媒質材料にドープし得ることを特徴とする請求項 4 0 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の説明】

【0001】

本出願は、2001年5月3日に出願された同じ名称の米国仮特許出願第 60/288518 号の優先権の恩典を主張する。上記出願の明細書の内容は本明細書に参照として含まれる。

【技術分野】

【0002】

本発明は光源に関し、特に遷移金属イオンを含む広帯域光源に関する。

【背景技術】

【0003】

広帯域光源、特に約 700 nm から約 1800 nm の赤外領域における広帯域光源は、多くの産業において、光通信技術を用いる(光ファイバを含む)光伝送システム及び生体画像化システムなど、非常に多くの用途に用いられる。広帯域光源は比較的広い発光半値幅を

10

20

30

40

50

与えるために有用である。広帯域光源は、高い輝度すなわち光強度、一様なスペクトル応答及びスペクトルの全領域をカバーする広い帯域幅、少ない作成または稼働費用、物理的に頑強及び光学的に安定という特徴を全て合せもつことが理想である。

【0004】

発光源を作成するために多種多様な技術が現在用いられている。第1のタイプの技術は、極めて一様なスペクトル応答を示すが、単一モードファイバと結合すると比較的低強度となる、熱または白色光(例えばタンクスティンフィラメント)光源である。第2のタイプの、おそらく最も一般的に用いられている技術は、1つより多いデバイスからの出力を複合して広帯域スペクトル出力をつくることが多いファイバピグテイル型端面発光ダイオード(ELD)である。第3のタイプの技術は、希土類金属ドープファイバ増幅自然発光(ASE)光源を採用するものである。最近になって、第4のタイプの、ファイバとレーザ光源からの超短パルスの間の非線形相互作用による連続光発生が開発された。

10

【0005】

しかし、これらの現行技術は、何らかの点において、広帯域光源に望ましいパラメータの多くまたは全てを満たすものではない。熱または白色光源から得られる低強度光では、ダイナミックレンジが比較的劣るため、最終的には信号対雑音比が低下し、したがって多くの用途で長い平均化時間が必要となるから、多くの用途に対しては除外される。この特定の欠点は半導体ELD及び希土類金属ドープASE光源を基にした技術における問題ほど大きくはないが、信号対雑音比の改善では代償として帯域幅が限定されている。第2のタイプの技術の一般的な市販装置は、1100~1600nm領域にわたる出力をつくるために4つのELDを用いる。平均強度は熱-白色光ベースの光源で得られる強度よりはるかに優れるが、発光スペクトルには、残念ながら、光源の全出力スペクトルにわたり、一般に10dBをこえる、かなりの強度リップルがある。第3のタイプの技術すなわちASE光源は、さらに高い強度及びかなり一様なスペクトル特性を提供するが、エルビウムASEファイバを例にとれば、ほぼ30~40nmの極めて限定された狭い帯域幅しか提供しない。多数のELD光源とファイバASE光源の複合を考えることはできるが、使用できる帯域幅を広げるためにスペクトルの一様性が必ず犠牲になる。最後に、選ばれたファイバにおける超短パルス相互作用の連続光発生が注目を集めているが、このタイプの技術には、フェムト秒レーザ技術など、極めて高価なパルス光源が必要である。さらに、パルス光源はおそらく他の光源ほど、頑丈、安定、または小型ではないであろう。

20

30

【特許文献1】

特許出願(コーニング(Corning)整理番号第SP01-123号)明細書

【特許文献2】

米国特許第6297179号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は、上記の問題のそれぞれに対処するものであり、上記した他の技術に勝る様々な利点を提供することができる。一態様において、本発明は、ELD/ファイバASE光源のような連続波光源の輝度及びコヒーレンスを、スペクトルの近IR領域(~700~1800nm)をカバーする帯域幅にわたる白色光源の一様性と複合する。別の態様において、本発明にしたがうデバイスは、超短パルス光源に対して低い製造コストと結びつけられた、全ファイバベースの技術(例えば、ダイオードポンピング、ファイバベースコンポーネントの利用)に本来備わっている安定、頑丈及び小型を備える。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明にしたがえば、新しい広帯域光源に対して、強度と、帯域幅と、現行技術のいずれかで達成し得るかまたは利用できるレベルよりはるかに優れた、相対一様性または平坦性を有する発光スペクトルとを備えている新たな広帯域光源の可能性が示される。一実施形態において、本発明は少なくとも1つまたはそれより多くの遷移金属イオン種を含有する

50

少なくとも 1 つの媒質材料を含む広帯域光源を包含する。本光源は、光エネルギーが注入されると、近赤外領域において帯域幅が少なくとも 150 ~ 250 ないし 300 nm 程度の広い出力スペクトルを発生する。2 つまたはそれより多くの媒質材料またはデバイスを含せて用いれば、光源は近赤外領域において強度が比較的一様である広帯域複合出力スペクトルを発生する。光源媒質は、結晶、ガラス - セラミック、ガラス及び有機高分子マトリクスからなる群から選ばれる材料を含む。光源は、透明なフォルステライトまたはガリウム酸塩スピネルのようなガラス - セラミック材料から形成される媒質を有することが好ましい。遷移金属イオンは、Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Sc, Ti, V, Zn からなる金属群から選ばれることが好ましい。上記遷移金属イオンは、Co³⁺, Cr³⁺, Cr⁴⁺, Ni²⁺, Ti³⁺, V²⁺ からなる群から選ばれることが好ましい。
10 広帯域光源の一実施形態は、平均強度からの偏差が ± 約 10 dB をこえない強度を有する複合スペクトルを、約 700 nm から約 1800 nm の範囲の各分域にわたり生成すなわち発光する。平均強度からの偏差が約 5 dB をこえない強度がさらに好ましい。光源は、約 500 ~ 700 nm ないし 約 980 nm の間あるいは 1050 nm ~ 約 1580 nm の間の、比較的一様な複合出力スペクトルを発生することが好ましい。広帯域光源はさらに希土類金属イオンを媒質に含有し、この希土類金属イオンには Er, Tm, Pr または Nd が含まれる。

【0008】

本発明は、広い帯域幅を有する広帯域光源材料を組み込んでいるデバイスも含む。本デバイスは、少なくとも 150 ないし 180 ~ 250 ないし 300 nm 程度の範囲において比較的広い発光半値幅を示す、遷移金属イオンがドープされている材料を含むことができる。あるいは、2 つまたはそれより多くの広帯域光源材料を複合すれば、デバイスは、約 700 ないし 800 nm ~ 約 1700 ないし 1800 nm の、約 1,000 nm の範囲にわたり、平均強度からの偏差が ± 約 10 dB をこえない強度をもつ複合出力スペクトルを放射できる。デバイスは、様々な光学部品、例えば、光ファイバ、導波路、增幅器または光エネルギー注入デバイス(レーザ)とすることができます。ビール(Beall)等による米国特許第 6297179 号の明細書には、光ファイバ、增幅器及びエネルギー注入デバイス(レーザ)が詳細に論じられている。上記特許明細書の内容は本明細書に参照として含まれる。デバイスは、光コヒーレント断層撮影(OCT)または光コヒーレントドメイン反射測定(OCDR)に用いることもできる。
20 30

【0009】

本発明の別の態様は、広帯域光源を作成するための方法を包含する。本方法は、遷移金属イオンを含有する材料を提供する工程、前記材料から光コンポーネントを形成する工程、前記材料内の遷移金属イオンにエネルギーを注入する工程、及び、約 700 nm 以上のスペクトル幅領域において、平均強度からの偏差が ± 約 10 dB をこえない強度を有する、広帯域複合光を放射する工程を含む。本方法はさらに、1 つより多い遷移金属イオン種を含有する 2 つまたはそれより多くの媒質を提供する工程を含むことができる。あるいは、広帯域光源の実施形態は、同じ種類の遷移金属イオンがドープされている、相異なる少なくとも 2 種の媒質材料で作成することもできる。

【0010】

本発明は、少なくとも 2 つの遷移金属イオン種を含有する媒質を提供する工程及び近赤外領域において比較的一様な強度をもつ比較的広い複合出力スペクトルを発生させるために媒質にエネルギーを注入する工程を含む、デバイスで光放射を発生する方法も含む。本方法はさらに、約 900 ~ 1560 nm のスペクトル範囲において、平均強度からの偏差が ± 約 10 dB をこえない強度を有する光を発生する工程を含むことができる。本方法は、結晶、ガラス - セラミック、ガラス及び有機高分子マトリクスからなる群から選ばれる材料からつくられた媒質を提供する工程を含むことができる。媒質はガラス - セラミック材料からつくられることが好ましい。媒質には、Co³⁺, Cr³⁺, Cr⁴⁺, Ni²⁺, Ti³⁺, V²⁺ からなる群から選ばれる遷移金属イオンをドープすることができる。
40

【発明を実施するための最良の形態】

10

20

30

40

50

【0011】

本発明にしたがえば、低リップルで広い帯域幅をカバーする広帯域一様光源を单一媒質材料で、あるいは、例えば2つまたはそれより多くの広い発光スペクトルを実現できる多重ファイバまたはその他のデバイスからの出力を複合することにより達成できる。この種のスペクトルは、結晶、ガラス・セラミック、ガラス及び有機高分子マトリクスからなる群から選ばれる材料でつくられた媒質材料にドープされた1つまたはそれより多くの遷移金属イオン種から得られる。光機能性をもつ希土類金属イオンを媒質材料内にドープすることもできる。本発明の一態様は、近赤外電磁波領域の主要範囲にわたる非常に幅の広いスペクトルを発生するために、遷移金属イオンの様々なスペクトルを用いることが好ましい。広帯域光源及び関連デバイス(例えば、光導波路、ファイバまたは増幅器)は近赤外波長において非常に広い発光スペクトルを発生することができる。スペクトル範囲は約500 nmから約1550 nmに及び得る。特定のスペクトルパラメータは特定の遷移金属及び/または用いられる1つまたは複数の特定媒質材料に依存するであろうが、~500~800 nmまたは~1300~1550 nm領域において、特に良好な出力を達成することができる。

10

【0012】

1つまたはそれより多くの媒質材料が1つより多い遷移金属イオン種を含有していれば、光源は光励起されると近赤外領域において広い複合出力スペクトルを発生する。例えば、図1に示されるような、 Cr^{4+} 及び Ni^{2+} の比較的広い発光スペクトルの複合により、約1170 nm~約1550 nmの領域において幅が約350~430 nmに及ぶ出力スペクトルを発生することができ、同時に、平均強度からの偏差が5 dBをこえない、比較的一様な、すなわち平坦な強度を維持することができる。

20

【0013】

本発明の一実施形態においては、同種の遷移金属イオンが相異なる2種の基体材料にドープされる。本実施形態の例が図6に示される。図6は、フォルステライト及びウィレマイトガラス・セラミック媒質のような、相異なる2種の基体材料にドープされた Cr^{4+} の相対スペクトルを示す。 Cr^{4+} が添加される特定の材料に依存して、 Cr^{4+} イオンは、強度が比較的等しく、複合すれば約950 nm~約1580 nmの半値幅で約800 nm~約1700 nmのスペクトル領域にわたる、別々の2つの発光スペクトルを放射できる。

30

【0014】

別の実施形態にしたがえば、2種またはそれより多くの種類の遷移金属イオンがドープされた单一種材料で形成された媒質を用いてデバイスを作成することができる。例として、フォルステライトガラス・セラミックに Cr^{4+} 及び Ni^{2+} をともにドープすることができる。 Cr_2O_x (~0.15重量%)とともにドープされた場合、フォルステライト内の Ni^{2+} の発光強度はおよそ3倍になるように見える。フォルステライト内のニッケルは、全遠距離通信帯をカバーする、約1450 nmを中心とする幅の広い発光を示すから、ニッケルイオンの活性を高めることは重要である。長波長側の領域での Ni^{2+} 発光を強めようとする場合、約1175 nmを中心とする帯域をもつ Cr^{4+} の発光強度は、 Cr^{4+} 発光の内のかなりの量が約1200 nmにある Ni^{2+} 吸収へのポンピングに消費されるならば、減少するはずであることに気づくべきである。しかし、このようなことはおこりそうにない。フォルステイト結晶では、 Ni^{2+} イオンは八面体格子点に入ることができ、 Cr^{4+} は四面体格子点に取り込まれるから、これら2つの発光イオンが競合関係になることはありそうもなく、共動して作用して一様な複合広帯域スペクトルを放射することができる。

40

【0015】

表1は、フォルステライトの3つの組成例を配合された重量%に関して示す。組成例はそれぞれの配合に存在する Cr_2O_3 の量が互いに異なる。

【表1】

表 1: Crドープフォルステライトの組成例

配合酸化物(重量%)	例: Y	例: X	例: Z
SiO ₂	43.5	43.5	43.5
Al ₂ O ₃	17.8	17.8	17.8
MgO	17.5	17.5	17.5
K ₂ O	16.5	16.5	16.5
TiO	4.8	4.8	4.8
NiO	0.30	0.30	0.30
Cr ₂ O ₃	0.10	0.05	0.15

10

20

30

40

【 0 0 1 6 】

図 7 は例 Y にしたがって形成されたガラスセラミックからの複合発光スペクトルを示し、図 8 は例 X にしたがって形成されたガラス - セラミックからの複合発光スペクトルを示す。図からわかるように、いずれの組成例でも、かなり高い発光強度 (y 軸 - 任意単位) 及び近赤外領域において少なくとも 400 nm から 500 nm (x 軸 - nm) 程度の総合波長範囲にわたるかなり幅の広い出力スペクトルを発生することができる。経験的に、より良好でさらに一様な複合スペクトルを達成するには、NiO 濃度を一定に保った場合、Cr₂O₃ の存在量を約 0.70 ~ 0.85 重量% のレベルにすると良いようである。当業者であれば、2 種の発光ドーパントの様々な組合せ及び量を調節して、複合スペクトルの一様性及び幅を最適化できることを理解するであろう。

【 0 0 1 7 】

適用できる別の材料種として、遷移金属イオンがドープされた透明ガリウム酸塩スピネルなどのガラス - セラミックがある。表 2 は、重量% で、約 36 ~ 45% の SiO₂ ; ~ 20 ~ 43% の Ga₂O₃ ; ~ 7 ~ 22% の Al₂O₃ ; ~ 11 ~ 16% の K₂O ; 0 ~ 2.5% の Li₂O ; 0 ~ 11% の Na₂O ; ~ 4 ~ 6% の La₂O₃ ; ~ 1 ~ 2% の MgO の組成をもつニッケルドープガリウム酸塩スピネルの代表例のいくつかを示す。ドープされていない組成の基本ガリウム酸塩スピネルは一般に、約 800 ~ 900 の間で約 1 ~ 2 時間熱処理される。

【 表 2 】

表 2: Ni ドープガリウム酸塩スピネルの組成例

酸化物(重量%)	例: A	例: B	例: C	例: D	例: E	例: F
SiO ₂	38.6	44.4	37.3	38.7	39.6	41.3
Ga ₂ O ₃	25.1	21.4	30.6	42.3	31.0	22.8
Al ₂ O ₃	16.2	20.4	13.3	7.7	15.9	21.8
K ₂ O	15.1	12.0	12.3	-	11.5	12.0
Li ₂ O	-	1.8	-	1.3	2.0	2.1
Na ₂ O	-	-	-	10.0	-	-
La ₂ O ₃	4.0	-	5.3	-	-	-
MgO	1.0	-	1.1	-	-	-
NiO	0.05	0.05	0.5	0.5	0.5	0.5

【 0 0 1 8 】

別の特定の組成の Li₁(Al₁, Ga₁)₅O₈ または “ - (Al₁, Ga₁)₂O₃ ” スピネルが、同時に譲渡された特許文献 1 に開示されている。上記明細書の内容は参照によって本明

50

細書に含まれるものとする。

【0019】

上記組成例をファイバにし、広帯域光源用途に関する特性を評価した。これらの例についての特定の発光スペクトルの詳細は、ファイバに加えられた熱処理に依存すると思われる。一例では、結晶化温度を高めるにつれて、より長波長において連続する急峻なピーク群の代わりに、平滑でより“ガウス型プロファイル”に近い、約1200 nmにピークをもつ、半値幅(FWHM)が約250 nmのスペクトルが得られた。このタイプの現象をグラフ化して図9に示す。対照的に、ガラス環境にNi²⁺イオンを含有する非結晶化ファイバは測定可能な発光を示さない。最適熱処理に近づくにつれて、活性Ni²⁺イオンの発光効率及び寿命は劇的に増加する。この特徴を、測定した、様々な熱処理に対する室温寿命及びピーク発光波長を列挙する、表3にまとめてある。

【表3】

表3: ガラスーセラミックファイバ内のNiイオン寿命のセラミック形成スケジュール依存性

熱処理	第1 e-フォールディング 時間	第2 e-フォールディング 時間	ピーク波長
750°C, 2時間	210 μs	400 μs	1350 nm
800°C, 2時間	780 μs	1.2 ms	1250 nm
850°C, 2時間	1.1 ms	1.3 ms	1200 nm

【0020】

ファイバのセラミック化が進むにつれて、発光のより高いエネルギーレベルへのシフトが見られる。Ni²⁺イオン発光スペクトルにおけるこの系統的变化は、おそらくイオンが元のガラスマトリクスよりも結晶環境に組み込まれるようになるため、イオンの電子-フォノン結合の変化にともなうと考えられる。

【0021】

出力スペクトルにおいて最適な一様性を達成するためには、遷移金属を含有する材料すなわち媒質のそれに用いられる相対ポンピングパワー及び強度を制御するべきである。強度の相対制御及び発光特性は、上述したような、特定の材料、その組成及びそれぞれの媒質内の特定の遷移金属の濃度に依存するであろう相対パワーを変えることにより最適化することができよう。図2は、それぞれのファイバの可能な過ポンピングにより波長帯に過剰な信号が生じ得る上記現象の例を示す。遷移金属イオンを含有するファイバは、所望の特定の用途に依存して、いずれのファイバにも最大強度の約2~20 dB以上または約1~40%以上のピーク強度差が生じないような態様でポンピングされる。

【0022】

基本概念を表わす本発明の実施形態は、980 nmレーザでポンピングされたときのCr⁴⁺ドープ及びNi²⁺ドープガラス-セラミックファイバの、図2または3に示される発光スペクトルである。Cr⁴⁺ドープファイバは約1150 nmに最大発光ピークを示し、Ni²⁺ドープファイバは約1400 nmに最大ピークを示すが、厳密なピーク及びプロファイルはガラスセラミック材料の厳密な組成に強く依存する。前述したように、出力スペクトルに最適な一様性を達成するためには、2種のファイバの間の相対ポンピングパワーが制御されなければならない。図3は、広帯域デバイス及び2つの相異なるポンピングパワーに対する出力スペクトルを、現行技術で得られるスペクトルの例とともに、比較して示す。波長分割マルチプレクサ(WDM)で結合された、遷移金属ドープガラスセラミックファイバのバック発光が示される。本広帯域光源はLED光源より優れた、一様なスペクトル応答を有し、ピグテイル型白色光源より高いパワーまたは強度を有する。

10

20

30

40

50

【0023】

実験により、本発明の広帯域光源及びこの光源を利用するデバイスが、多重ELED光源を置き換えるために用いられ得るであろう、かなり広いスペクトルを達成できることが示された。一例において、約1100～1550nmにわたる約450nmの複合帯域幅を有する、本発明にしたがうニッケル及びツリウムまたはエルビウムがドープされたファイバのスペクトル範囲をカバーするには、概ね3個のELEDが必要であろう。本光源では平均強度からの偏差が～5dBをこえない。

【0024】

さらに、図4に示される、厳密な媒質への光エネルギー注入波長も要因となり得る。図4は、980nm及び820nmでレーザエネルギー注入すなわちポンピングされた、Crドープ及びNiドープ媒質の複合による相対幅及び強度の比較を示す。820nmでエネルギー注入された複合媒質は、ほぼ950nmから約1550nmまでの、約600nmの帯域幅にわたり約5dBのリップルしか示さない。短波長性能における改善は、630nmのような、別の波長におけるポンピングにより達成され得る。約800～820nmにおけるレーザ照射は、スペクトル幅をさらに約100nm広げることから、約1400nmより短波長をかなり良くカバーする。この特徴は、980nmポンピングではCr³⁺イオンが励起されないことから、Cr³⁺イオンの発光によると思われる。

【0025】

スペクトルの一様性を制御するための別の可能な方法を考えることができる。これらの方は、ポンピング光スプリッタカプラを特定の有利な比に設定する工程を含むことができる。数10nm程度までポンピング波長を調整することにより、かなりの差があるポンピング光配分を達成できるように、ポンピング光スプリッタカプラの波長応答を用いて、それぞれのファイバに進むポンピングパワーの相対量を調節することができる。図5A及び5Bに示される例において、比は50:50に設定されるが、この比は容易に、80:20, 70:30, 60:40あるいは中間の別のどのような値とすることもできよう。ポンピング光スプリッタカプラの出力アームに可変光減衰器(VOA)を組み込み、よってデバイス作成後の一様性制御を可能にする、別の手法もあり得よう。あるいは、単にそれぞれのポンピングレーザからの出力パワーを変えることにより総合一様性を制御できるよう、別々のポンピングレーザを用いて別々のドープトファイバを励起することができる。これらの手法は説明のための例として与えられるに過ぎず、いかなる点においても本発明を限定するものではない。

【0026】

図5A及び5Bは、発光スペクトルを複合するために使用できる他のファイバ装置の別の実施形態の略図を示す。これらの構成の代替形態は本開示の範囲内に含めることができ、含まれるとされる。例えば、ファイバベース広帯域光源に関する有用な用途には、ファイバベースコンポーネント(例えば、伝送及び增幅のためのドープトファイバに加えて、回折格子、カプラ)の損失スペクトル特性を測定するための装置を含めることができる。ガラス-セラミック利得媒質を組み込んでいる光信号デバイスは特許文献2に説明されており、この明細書の内容は参照によって本明細書に含まれるものとする。

【0027】

広帯域光源を組み込む別のデバイスには、ファイバまたはファイバベースコンポーネントの伝送特性を測定するための装置を含めることができる。そのような用途では、高められた出力パワーにより、測定ダイナミックレンジの向上、平均演算が少なくなることによる測定時間の短縮、及びより高い分解能を得ることができる。1つまたはそれより多くの遷移金属イオン種を含有する1つの媒質材料を有する広帯域光源及び装置実施形態のいくつかについて、得られる出力スペクトルをそれだけで非常に広くすることができる。上述したように、図9は、約1250nmを中心とするピーク波長、広いスペクトル帯域(半値幅:～250nm)及び平滑なプロファイルという所望の特性を有するニッケルドープガラス-セラミックファイバからの出力スペクトルにより、本発明の一例を表わす。

【0028】

10

20

30

40

50

広帯域光源はOCTの分野に適用される場合にも有用であり得る。最適化されたデバイスは、デバイスの深さ分解能を制御する決定的パラメータである、高い空間コヒーレンス、高い輝度及び広い帯域幅を示す。そのような特性は生体画像化装置での使用に歓迎され得る。980nmポンピングレーザダイオードを使用する図10に示されるそのような装置は、比較的安価であり、コンパクトであって、全ファイバ光源であるから、新興のOCT分野において特に有用である。さらに、発生されるスペクトルは水の強い吸収ピークのいずれからも離れた所望の波長を中心とし、インターフェログラムの信号処理を比較的容易にするガウス型に近いプロファイルを有する。本光源の大きなFWHMにより、OCTまたはOCDRシステムに用いた場合に、空間分解能のかなりの向上が得られる。

【0029】

10

遷移金属ドープファイバにより、分解能を5μmより小さくできる能力が得られる。対照的に、現在入手できる装置は、発光源として超発光ダイオードを利用し、帯域幅が比較的狭い(通常70nm未満)ため8~20μm程度の分解能しか得られない。将来のOCT用途に対しては波長800nmを中心とする広帯域光源が大いに望まれるが、現行レベルからの分解能の向上が必要である。例えば、OCT技術で眼を画像化する特定のシステムには800nmダイオードが用いられるが、ダイオードでは狭いスペクトル帯域しか得られないので、比較的低い分解能しか得られない。本発明はこの問題への解決策を提供する。図11は、OCTシステムに有用であり得る、別の広帯域光源の例からの出力を示す。Cr³⁺ドープガラスファイバからの広いスペクトルはほぼ800nmを中心とし、幅は200nmをこえる。別に調節することで、これらの広帯域光源のプロファイルを改善することができる。そのような調節には、ガウス型プロファイルにさらに一層近づけるために用いられるであろう、例えば帯域通過フィルタを用いる、出力スペクトルのフィルタリングがあり得る。

20

【0030】

前述したように、現行技術によるデバイスは、単一または複数のレーザダイオード、希土類金属ドープファイバASE(增幅自然放出)光源、熱白色光源、短パルス(フェムト秒)レーザを利用する連続光発生または様々なレーザからの出力の高速波長同調に基づいている。これらの技術はいずれも、ファイバベース実施形態のような、かなり単純で比較的安価なデバイスという利点をともなう、本発明にしたがう広帯域光源の望ましい帯域幅を示さない。

30

【0031】

広帯域光源の使用に関する別の用途には、波長分割マルチプレックス(WDM)システムに適用するためのスペクトルスライス型光源がある。現在、エルビウムドープファイバからのASEスペクトルが、主として短距離及び都市内伝送システムに対して、上記の低コスト光源転移システム用の可能性を示すために用いられている。ビットレートとチャネル当たりの光帯域幅のトレードオフは、10Gビット/秒のデータレートにはチャネル当たりほぼ3nmの光帯域幅が必要であり、よって20チャネルシステムに必要なASE光源からの帯域幅は60nmをこえるであろうということを意味する。遷移金属ドープ導波路またはファイバの使用により、上記の広帯域ASE基準を容易に満たし、上まわることができ、ビットレートをさらに高くすること及び/またはチャネル数をさらに多くすることが可能になろう。

40

【0032】

本発明を例を用いて説明したが、当業者には、本発明が詳しく説明された実施形態に限定されず、本発明の精神及び範囲を逸脱することなく改変及び変形がなされ得ることが、理解されるであろう。したがって、変更態様が特許請求の範囲で定められる本発明の範囲から外れていない限り、そのような変更態様は本発明に含まれると見なされるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】Crドープ光ファイバ及びNiドープ光ファイバのそれぞれの発光スペクトルを比較して示す

50

【図2】本発明の一実施形態にしたがう、最適複合スペクトルを達成するための、図1によるファイバ内の遷移金属イオンのそれぞれに対する相対ポンピングパワーを可変調節することによる複合出力スペクトルの制御を示す

【図3】本発明の一実施形態の出力スペクトルを現行の光放射法の2つの例と比較して示す

【図4】980nm及び820nmでエネルギーが注入され、若干異なる強度でポンピングされるCrドープファイバ及びNiドープファイバを用いた、本発明の実施形態の2つの出力スペクトルを比較して示す

【図5A】ポンピング光スプリッタカプラデバイスの略図である

【図5B】別のレーザデバイスの略図である

10

【図6】2つの異なる種類の媒質材料に同じ種類の遷移金属イオンが添加されている、本発明の別の実施形態の発光スペクトルを示す

【図7】Crレベルが約0.10重量%の一組成実施形態にしたがう、フォルステライトガラス-セラミックにドープされているCr及びNiの複合スペクトルを示す

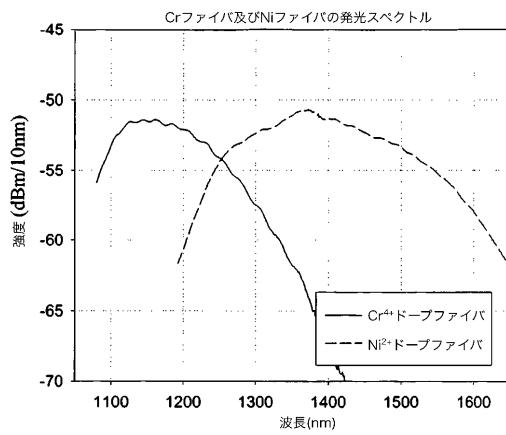
【図8】Crレベルが約0.005重量%の一組成実施形態にしたがう、フォルステライトガラス-セラミックにドープされているCr及びNiの複合スペクトルを示す

【図9】本発明にしたがうNiドープガラス-セラミックファイバの出力スペクトルを示す。本スペクトルは、中心ピーク波長が約1250nmであり、半値幅(FWHM)が約250nmである

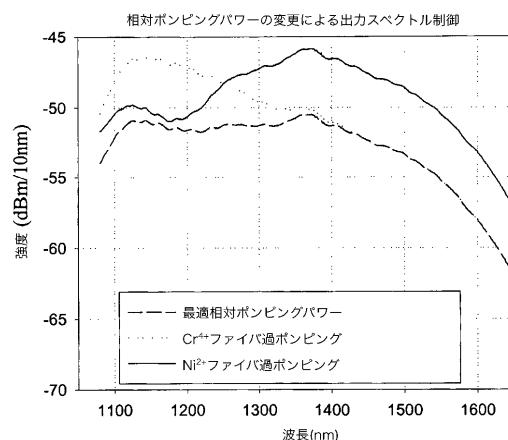
【図10】光コヒーレント断層撮影(OCT)または光コヒーレントドメイン反射測定(OCDR)に用いることができるファイバベースデバイスの略図である

【図11】本発明にしたがうCr³⁺ドープガラスファイバの発光スペクトルを示す。本スペクトルの幅は200nmより広く、スペクトルの最大値は約800nmにある

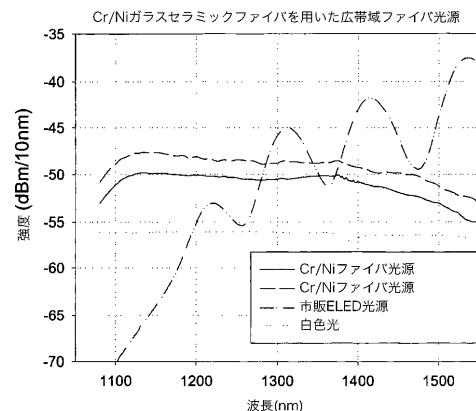
【図1】



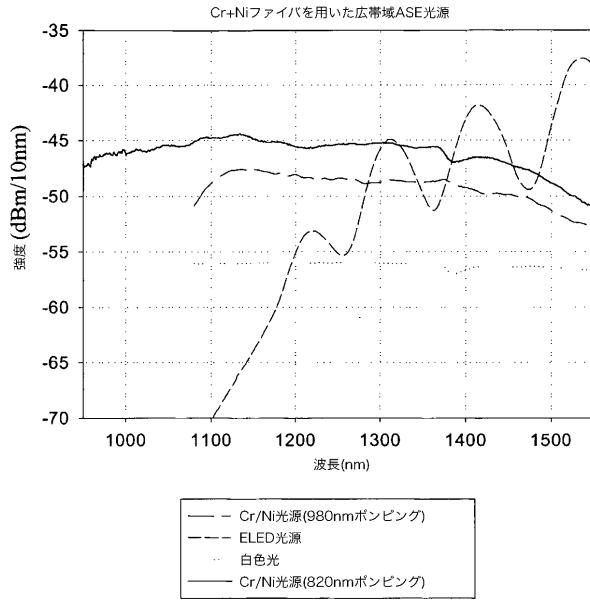
【図2】



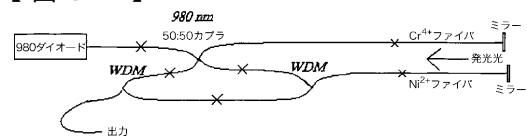
【 図 3 】



【 図 4 】



【図5A】

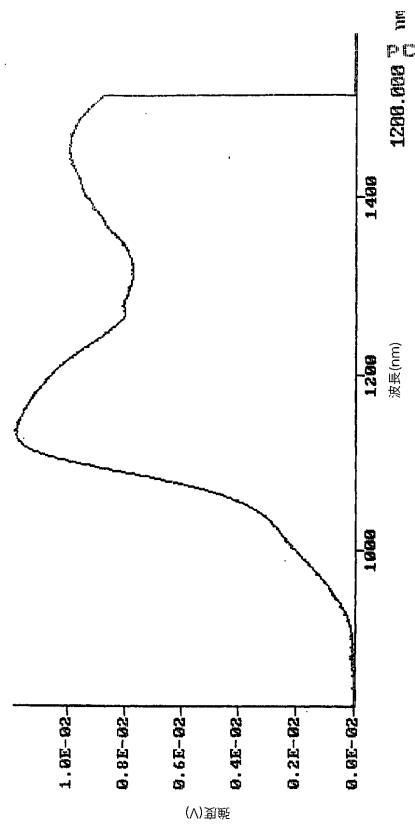


【 図 5 B 】

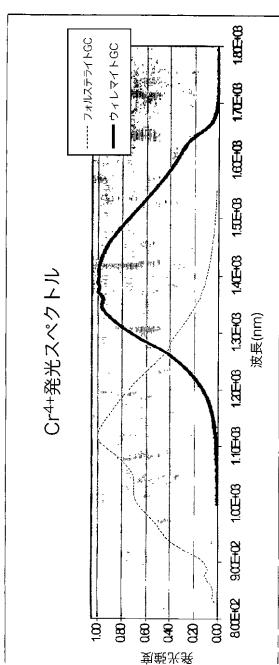


【図6】

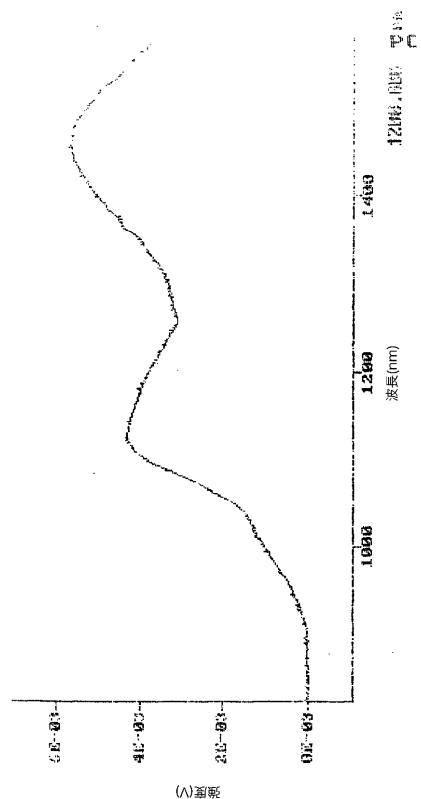
【 义 7 】



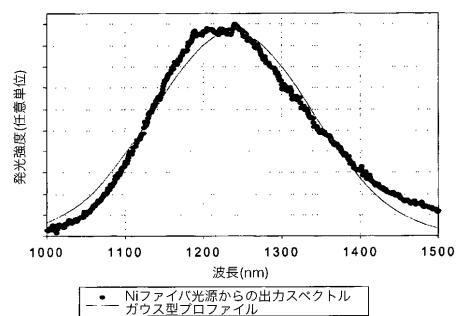
Cr⁴⁺発光スペクトル



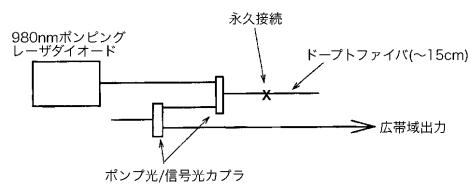
【図8】



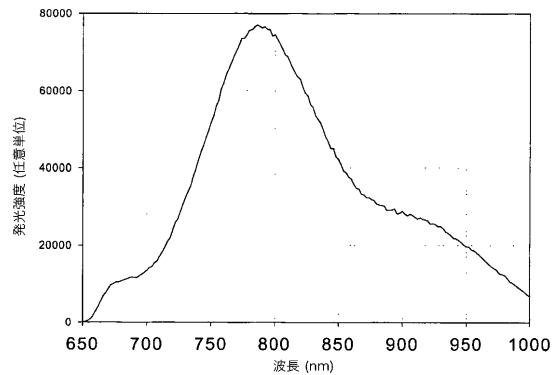
【図9】



【図10】



【図11】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
14 November 2002 (14.11.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/091530 A1

(51) International Patent Classification: H01S 3/067. 3/16, 3/17, C03C 10/02, 10/04, 13/04

(74) Agent: KUNG, Vincent T; Corning Incorporated, SP-TI 3
1, Corning, NY 14831 (US)

(21) International Application Number: PCT/US02/14000

(81) Designated States (national): A1, AG, AI, AM, AT, AU,

(22) International Filing Date: 1 May 2002 (01.05.2002)

AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CI, CN, CO, CR, CU,

(25) Filing Language: English

CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GI,

(26) Publication Language: English

GM, IIR, IJU, ID, IL, IN, IS, JR, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,

(30) Priority Data: 60/288,518 3 May 2001 (03.05.2001) US

LK, I.R, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,

(71) Applicant: CORNING INCORPORATED [US/US]; 1

MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,

(72) Inventors: BEALL, George H; 16 Woodland Drive, Big
Flats, NY 14814 (US); BORRELLI, Nicholas F; 935 West
Water St., Elmira, NY 14905 (US); DOWNEY, Karen E;
600 Warren Road #8-1B, Ithaca, NY 14850 (US); SAM-
SON, Bryce N; 120 Kennedy Dr., Horseheads, NY 14845
(US).

SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN,

YU, ZA, ZM, ZW.

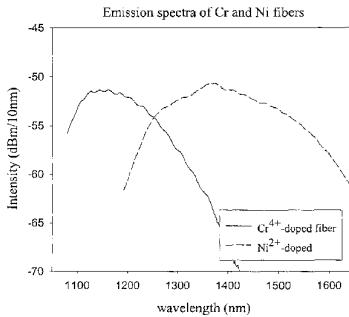
(84) Designated States (regional): European patent (AT, BE,

CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,

NL, PT, SE, TR).

Published:
— with international search report
For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: BROADBAND SOURCE WITH TRANSITION METAL IONS



WO 02/091530 A1

(57) Abstract: A broadband source, including associated devices that may incorporate the broadband source, which makes use of at least one, preferably two or more broad fluorescence spectra in combination from one or more species of transition metal ions doped in one or more material bodies. The bodies are selected from crystalline, glass-ceramic, glass, or polymer-organic materials. The broadband source or devices can generate a very broad fluorescence spectrum. The combined spectrum preferably spans a wavelength range of about 500 nm to 600 nm to 700 nm, and having an intensity that does not deviate from an average intensity by more than about 10 dB, over a range or portion of the near infrared region.

WO 02/091530

PCT/US02/14000

1

BROADBAND SOURCE WITH TRANSITION METAL IONS

CLAIM OF PRIORITY

[0001] The present Application claims benefit of priority of U.S. Provisional Application No. 60/288,518, of the same title, filed on May 3, 2001, the content of which is incorporated herein by reference.

BACKGROUND

[0002] Broadband sources, particularly in the infrared region from about 700 nm to about 1800 nm, are used in numerous applications in a number of industries, including the photonic, optical transmission (including optical fibers), and biological imaging systems. A broadband source is useful for providing a relatively wide fluorescence half-width. A broadband source ideally would combine characteristics of high brightness or optical intensity, flat spectral response and broad bandwidth, covering all parts of the spectrum and be inexpensive to make or operate, and be physically robust, and optically stable.

[0003] A number of different kinds of technologies are used currently to create light emissive sources. First, one kind of technology is a thermal or white light (e.g., tungsten filament) source, which exhibits a very flat spectral response but relatively low intensity when coupled with single-mode fiber. A second kind, perhaps the most commonly used technology, is fiber pigtailed edge light emission diode (ELED) sources, which often combine the output from more than one device to produce a broad spectral output. A third kind of technology employs rare earth doped fiber amplified

WO 02/091530

PCT/US02/14000

2

spontaneous emission (ASE) sources. More recently, a fourth kind, continuum generation from non-linear interactions between fibers and ultra short pulses from laser sources has been developed.

[0004] These current technologies, however, fail to meet in some aspect many or all of the desirable parameters for a broadband source. The low intensity of light achievable from thermal or white-light sources rules them out for many applications, since their relatively poor dynamic range ultimately gives rise to poor signal to noise ratios, hence requiring long averaging times for many applications. This particular shortcoming isn't as great a problem in the technologies based on semiconductor ELEDs and rare earth-doped fiber ASE sources, but any improvement in signal to noise ratios have been at the expense of limited bandwidth. Typical commercial devices of the second kind of technology use four ELEDs to produce an output that spans the 1100-1600 nm region. Although the average intensity is far superior to that obtained from thermal-white-light based sources, their emission spectrum has, unfortunately, significant intensity ripples of typically more than 10 dB, over the full output spectrum of the sources. The third kind of technology or ASE sources offer higher intensity and fairly flat spectral characteristics, but only over very limited, narrow bandwidths of approximately 30-40 nm, as for example an erbium ASE source. Combinations of many ELEDs and fiber ASE sources can be conceived, but inevitably the spectral flatness is sacrificed to extend their useable bandwidth. Finally, although the continuum generation of ultra short pulse interactions in selected fibers has received attention, this kind of technology requires a very expensive pulsed source, such as femtosecond laser technology. Further, the pulsed sources may not be as robust, stable or compact as alternative sources.

[0005] The present invention addresses each of these concerns and can offer various advantages over these other technologies. The present invention in one aspect combines the brightness and coherence of continuous wave sources, such as the ELED/fiber ASE sources, with the flatness of the white light source, over a bandwidth covering the near IR portion of the spectrum (~700-1800 nm). In another aspect devices according to the present invention have the stability, robustness and compactness inherent in an all-fiber based technology (e.g., diode pumped, utilizing

WO 02/091530

PCT/US02/14000

fiber based components) coupled with a low manufacturing cost relative to ultra-short pulse sources.

SUMMARY OF THE INVENTION

[0006] According to the present invention, we show the potential for a new broadband source, with an intensity, bandwidth, and spectral fluorescence having a relative flatness or level far superior to that which is achievable or available from any of the current technologies. The present invention in one embodiment encompasses, a broadband source comprising at least one material body containing at least one or more species of transition-metal ions. The source produces a broad output spectrum of about at least 150-250 or 300 nm bandwidth in a near infrared region, when optically energized. When two or more bodies or devices are employed together, the source produces a broad combined-output spectrum of a relatively level intensity in a near infrared region. The source body may comprise a material selected from the group consisting of crystalline, glass-ceramic, glass, and organic-polymer matrices. Preferably, the source has a body made from a glass-ceramic material, such as transparent forsterites or gallate spinels. The transition-metal ions are preferably selected from a group of metals consisting of: Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Sc, Ti, V, Zn. Preferably, said transition-metal ions are selected from a group consisting of: Co^{+3} , Cr^{+3} , Cr^{+4} , Ni^{+2} , Ti^{+3} , V^{+2} . One embodiment of a broadband source produces or emits a combined spectrum having an intensity that does not deviate from an average intensity by more or less than about 10 dB, over sections of a range from about 700 nm to about 1800 nm. More preferably, the said intensity does not deviate from said average intensity by more than about 5 dB. Preferably, the source produces a relatively level, combined-output spectrum between about 500-700 nm to about 980 nm, or 1050 nm to about 1580 nm. The broadband source further comprises rare-earth ions in said body, wherein said rare earth ions include Er, Tm, Pr, or Nd.

[0007] The present invention also includes a device incorporating the broadband source material having a broad bandwidth. The device may comprise a material doped with transition-metal ions that exhibit relatively broad fluorescence half-widths in a range of about at least 150 or 180-250 or 300 nm. Alternatively, when two or more broadband source materials are combined, the device may emit a combined output spectrum with

WO 02/091530

PCT/US02/14000

4

an intensity that does not deviate from an average intensity by more or less than about 10 dB over a possible range of about 1,000 nm, from about 700 or 800 nm to about 1700 or 1800 nm. The device can be a variety of optical components, for example, an optical fiber, waveguide, amplifier, or optical energizer (laser). U.S. Patent No. 6,297,179, by Beall *et al.*, discusses optical fibers, amplifiers, and energizers (lasers) in detail, the content of which is incorporated herein by reference. The device may also be used for optical coherence tomography (OCT) or optical coherence domain reflectometry (OCDR).

[0008] Another aspect of the present invention encompasses a method for making a broadband source. The method comprises: providing a material containing transition-metal ions, forming said material into an optical component, energizing the transition metals in said material, and emitting a broad, combined fluorescence having an intensity that does not deviate from an average intensity by more or less than about 10 dB, in a spectral region greater than or equal to about 700 nm. The method may further comprise providing two or more bodies containing more than one species of transition metal ions. Alternatively an embodiment of the broadband source may also be made from at least two different kinds of material bodies doped with the same kinds of transition metal ions.

[0009] The invention also includes a method of producing an optical emission in a device comprising providing a body including at least two species of transition metal ions, energizing the body to produce a relatively broad combined-output spectrum of a relatively level intensity, in a near infrared region. The method may further comprise producing an emission that has an intensity that does not deviate from an average intensity by more than about 10 dB or less, between a spectrum range from about 900-1560 nm. The method also may include providing a body made from a material selected from the group consisting of crystalline, glass-ceramic, glass, and organic-polymer matrices. Preferably, the body is made from a glass ceramic material. The material may be doped with transition metal ions selected from a group consisting of: Co^{+3} , Cr^{+3} , Cr^{+4} , Ni^{+2} , Ti^{+3} , V^{+2} .

BRIEF DESCRIPTION OF THE FIGURES

- [0010] FIGURE 1 shows, in comparison, respective emission spectra of Cr- and Ni-doped optical fibers.
- [0011] FIGURE 2 shows, according to an embodiment of the present invention, the control of a combined-output spectrum by variably adjusting relative pump powers for each of transition metal ions in the fibers according to Figure 1, to achieve an optimized combined spectrum.
- [0012] FIGURE 3 shows output spectrum of an embodiment of the present invention as compared with two examples of current light emission techniques.
- [0013] FIGURE 4 shows two output spectra of embodiments of the present invention in comparison using Cr- and Ni-doped fibers energized at 980 nm and 820 nm, and pumped at slightly different intensities.
- [0014] FIGURE 5A is a schematic representation of a pump splitter coupler device.
- [0015] FIGURE 5B is a schematic representation of an alternative laser device.
- [0016] FIGURE 6 shows the fluorescence spectra of another embodiment of the present invention, in which the same kind of transition metal ions is incorporated into two different kinds of material bodies.
- [0017] FIGURE 7 shows a combined spectrum of Cr and Ni doped in a forsterite glass-ceramic according to one compositional embodiment with Cr levels at about 0.10 wt. percent.
- [0018] FIGURE 8 shows a combined spectrum of Cr and Ni doped in a forsterite glass-ceramic according to one compositional embodiment with Cr levels at about 0.05 wt. percent.
- [0019] FIGURE 9 shows the output spectrum of a Ni-doped glass-ceramic fiber according to the present invention. The spectrum has a center peak wavelength of about 1250 nm, and a full-width half-maximum (FWHM) of about 250 nm.
- [0020] FIGURE 10 is a schematic representation of a fiber-based device that may be used for optical coherence tomography (OCT) or optical coherence domain reflectometry (ODCR).
- [0021] FIGURE 11 shows the fluorescence spectrum of a Cr³⁺-doped glass fiber according to the present invention. The spectrum exceeds 200 nm in width and has a spectral maximum at about 800 nm.

WO 02/091530

PCT/US02/14000

DETAILED DESCRIPTION

[0022] According to the present invention, a broad flat source covering a large bandwidth with low ripple can be achieved in either a single material body or by combining the output from, for instance, multiple fibers or other devices that may incorporate two or more broad fluorescence spectra. These kinds of spectra are derived from one or more species of transition metal ions doped in a material body made from a material selected from the group consisting of crystalline, glass-ceramic, glass, and organic-polymer matrices. Rear-earth metal ions with optical functionality may also be doped within. An aspect of the present invention is preferably to use the varied spectra of transition metal ions to generate a spectrum of unusually broad width over key portions of the near infrared electromagnetic region. A broadband source and associated devices (e.g., optical waveguide, fiber, or amplifier) can generate a very broad fluorescence spectrum in the infrared wavelengths. Spectral ranges may span from about 500 nm through about 1550 nm. Although, specific spectral parameters would depend on the particular transition metals and/or the particular material body or bodies employed, particularly good output can be achieved in the ~500-850 nm or ~1300-1550 nm regions.

[0023] When one or more of the material bodies contain more than one species of transition-metal ions, the source produces a broad combined-output spectrum in the near infrared region when optically activated. As Figure 1 illustrates, a combination of the relatively broad fluorescence spectra of Cr⁺⁴ and Ni⁺², for example, can produce an output spectrum that spans over about 350-430 nm, in the region from about 1170 nm to about 1550 nm, while maintaining a relatively level or flat intensity that does not deviate from an average intensity by more than 5 dB.

[0024] In an embodiment of the present invention, the same kind of transition metal ions is doped in two different kinds of material substrates. An example of this embodiment is illustrated in Figure 6. Figure 6 shows the relative spectra of Cr⁺⁴ doped in two different material substrates, such as forsterite and willemite glass-ceramic bodies. Depending on the specific material in which they are incorporated, Cr⁺⁴ ions can emit two separate fluorescent spectra of relatively equal intensity, which in combination ranges over a spectral region of from about 800 nm to about 1700 nm, with a half-bandwidth of from about 950 nm to about 1580 nm.

[0025] According to another embodiment, the device can be made using a body formed of a single kind of material doped with two or more kinds of transition metal ions. As an example, forsterite glass-ceramics can be co-doped with Cr⁴⁺ and Ni²⁺. When co-doped with Cr₂O_x (~ 0.15 wt. %), the luminescence intensity of Ni²⁺ in forsterite appears to increase by roughly a factor of three. Because nickel in forsterite shows a broad luminescence, centered at about 1450 nm, covering the entire telecommunications band, it is important to increase the activity of nickel ions. When helping to increase the longer wave Ni²⁺ emission, one should be aware that the luminescence intensity of Cr⁴⁺, with a band centered at about 1175 nm, could be decreased if much of the Cr⁴⁺ emission is pumped into the Ni²⁺ absorption at about 1200 nm. But this is unlikely. Since the Ni²⁺ ion can enter the octahedral sites and the Cr⁴⁺ is incorporated into tetrahedral sites in forsterite crystals, the two luminescent ions are unlikely to be in competition and may act synergistically to emit a flat combined broad spectrum. Forsterite crystals tend to be in a slightly distorted configuration, thus permitting emission from nickel ions.

[0026] Table 1 presents three compositional examples of forsterite in terms of weight percent as batched. The compositional examples differ from one in another in the amount of Cr₂O₃ present in each batch.

TABLE 1: Example Compositions of Co-doped Forsterite

Oxides Batched (wt. %)	Ex. Y	Ex. X	Ex. Z
SiO ₂	43.5	43.5	43.5
Al ₂ O ₃	17.8	17.8	17.8
MgO	17.5	17.5	17.5
K ₂ O	16.5	16.5	16.5
TiO	4.8	4.8	4.8
NiO	0.30	0.30	0.30
Cr ₂ O ₃	0.10	0.05	0.15

Figures 7 depicts a combined spectrum emission from a glass-ceramic formed according to Example Y, and Figure 8 shows a combined spectrum emission from a glass-ceramic formed according to Example X. As one can see, both compositional examples can produce fairly high fluorescent intensity (y-axis – in arbitrary units), and rather broad output spectra over a total span in wavelength of at least about 400 nm to

500 nm (x-axis – nm) in the near infrared region. Empirically, to achieve a better, more level combined spectrum, the amount of Cr_2O_3 likely will be present at levels about 0.70-0.85 weight percent, if the NiO concentration is maintained constant. Those in the art will understand that various combinations and amounts of the two fluorescent dopants can be adjusted to optimize flatness and breadth of the combined spectrum. [0027] Another species of applicable materials includes glass-ceramics like transparent gallate spinels doped with transition metal ions. Table 2 presents some representative examples of nickel-doped gallate spinel with compositions, in weight percent, of about 36-45% SiO_2 ; ~20-43% Ga_2O_3 ; ~7-22% Al_2O_3 ; ~11-16% K_2O ; 0-2.5% Li_2O ; 0-11% Na_2O ; ~4-6% La_2O_3 ; ~1-2% MgO . The undoped, basic gallate spinel compositions are typically heat-treated between about 800-900°C for about 1-2 hours.

TABLE 2: Example Compositions of Ni-doped Gallate Spinel

Oxides (wt.%)	Ex. A	Ex. B	Ex C	Ex. D	Ex. E	Ex. F
SiO_2	38.6	44.4	37.3	38.7	39.6	41.3
Ga_2O_3	25.1	21.4	30.6	42.3	31.0	22.8
Al_2O_3	16.2	20.4	13.3	7.7	15.9	21.8
K_2O	15.1	12.0	12.3	-	11.5	12.0
Li_2O	-	1.8	-	1.3	2.0	2.1
Na_2O	-	-	-	10.0	-	-
La_2O_3	4.0	-	5.3	-	-	-
MgO	1.0	-	1.1	-	-	-
NiO	0.05	0.05	0.5	0.5	0.5	0.5

Other specific $\text{Li}(\text{Al},\text{Ga})_3\text{O}_8$ or “ γ -(Al,Ga)₂ O_3 ” spinel compositions are disclosed in co-assigned, patent application No. (Coming Docket No. SP01-123), the contents of which are incorporated herein by reference.

[0028] The composition examples have been fiberized and evaluated for their properties for broadband source application. The details of the particular fluorescence spectrum for the examples appear to depend on the heat treatment given the fiber. One example achieved a spectrum of about 250 nm full-width half-maximum (FWHM), with a peak at about 1200 nm, having a smooth more “gaussian lineshape,” instead of a series of sharp peaks at longer wavelength, as the crystallization temperature increases. A graphical illustration of this type of phenomenon can be seen in Figure 9. By

comparison, a non-crystallized fiber containing Ni^{2+} ions in a glass environment provides no measurable fluorescence. As optimal heat treatment is approached, the fluorescence efficiency and lifetime for the active Ni^{2+} ions increases dramatically. This feature is summarized in Table 3, which lists the measured room-temperature lifetimes for different heat treatments and the peak fluorescence wavelengths.

TABLE 3: Dependence of Ni-ion lifetime in glass-ceramic fibers with ceramming schedule.

Heat Treatment	1 st "e" folding time	2 nd "e" folding time	Peak Wavelength
750°C for 2 hrs.	210 μs	400 μs	1350 nm
800°C for 2 hrs.	780 μs	1.2 ms	1250 nm
850°C for 2 hrs.	1.1 ms	1.3 ms	1200 nm

One observes a shift in the fluorescence to higher energy levels upon ceramming the fiber. It is believed that these systematic changes in the Ni^{2+} -ions spectroscopy are associated with a change in the electron-phonon coupling of the ions, presumably as they become incorporated into the crystalline environment rather than the original glass matrix.

[0029] To achieve an optimal flatness in the output spectrum, the relative pump power and intensity employed with the respective transition metal containing materials or media should be controlled. Relative control of the intensity and fluorescence characteristics could be optimized by variation in the relative powers, which will depend on the specific material, its composition, and concentration of specific transition metal ions in the respective media as desired. Figure 2 shows examples of this phenomenon, where possible over-pumping of either fiber can lead to excessive signal in the wavelength band. The fibers, which contain the transition metal ions, are pumped in a fashion such that neither has a differential-in-intensity peak of \geq about 2-20dB or about 1-40% of maximum intensity, depending on the particular desired application.

[0030] An embodiment of the present invention illustrating the basic concept is the fluorescence spectra, shown in Figures 2 or 3, of Cr^{4+} -doped and Ni^{2+} -doped glass ceramic fibers when pumped with a 980-nm laser. The Cr^{4+} -doped fiber, exhibits a fluorescence maximum peak at about 1150 nm, and the Ni^{2+} -doped fiber exhibits a maximum peak at about 1400 nm, with the exact peak and line-shape strongly

WO 02/091530

PCT/US02/14000

10

dependent on the exact composition of the glass-ceramic material. As mentioned before, the relative pump powers between the two fibers need to be controlled to achieve an optimal flatness in the output spectrum. Figure 3 shows in comparison the output spectrum for a broadband device and two different pump powers, along with examples of the spectrum obtained from the current technologies. The back fluorescence of transition metal-doped glass-ceramic fibers combined in wavelength division multiplexes (WDM) is shown. The broadband source has a better and flatter spectral response than the ELED source, and a higher power or intensity than the pigtailed white light source.

[0031] Empirical tests have shown that the present broadband source and devices utilizing the source can achieve a significantly broad spectrum that could be used to replace multiple ELED sources. In an example, about 3 ELEDs would be necessary to cover the spectral range of a nickel and thulium or erbium doped fiber according to the present invention, which has a combined bandwidth of about 450 nm over about 1100 – 1550 nm. The source doesn't deviate from an average intensity by more than ~ 5 dB.

[0032] Additionally, the exact wavelengths at which the media are optically energized could be a factor, illustrated in Figure 4. Figure 4 shows a comparison of the relative breadth and intensity of combined Cr- and Ni-doped media, as laser energized or pumped at 980 nm and at 820 nm. The combined media energized at 820 nm exhibits only about a 5dB ripple over about 600 nm of bandwidth, from approximately 950 nm to about 1550 nm. Improvement in the short wavelength performance can be achieved by pumping at other wavelengths, such as 630 nm. Lasing at about 800-820 nm fills-in the wavelengths shorter than about 1400 nm rather well, in that it increases the breadth of the spectrum by about an additional 100 nm. This feature is likely due to the fluorescence of Cr³⁺ ions, since Cr³⁺ ions are not as excited by pumping at 980 nm.

[0033] Other possible methods can be envisioned for controlling the flatness of the spectrum. These methods may include setting the pump splitter coupler to a particularly advantageous ratio. The wavelength response of the pump splitter coupler can be used to control the relative amount of pump power going to each fiber, such that by tuning the pump wavelength by some tens of nanometers significant variation in the pump distribution can be achieved. In the example illustrated in Figures 5A and 5B, the ratio is set at 50:50 but this could easily be 80:20, 70:30, 60:40, or any variant in

between. Another approach could be to incorporate variable optical attenuators (VOAs) into the output arms of the pump splitter coupler, thus allowing the flatness to be controlled after the device is manufactured. Alternatively, separate pump lasers can be employed to excite the different doped fibers, such that by simply varying the output power from each pump the overall flatness can be controlled. These approaches are merely given as illustrative examples, and in no respect limit the present invention.

[0034] Figures 5A and 5B show schematic representations of alternate embodiments of other fiber devices, which can be used to combine the fluorescence spectra.

Alternatives to these designs can and are intended to be included within the scope of the present disclosure. For instance, useful applications for fiber based broadband sources may include a device to characterize loss spectrum in fiber based components (e.g., gratings, couplers as well as doped fibers for transmission and amplifiers).

Optical signal devices incorporating glass-ceramic gain media are described in U.S. Patent No. 6,297,179, the content of which is incorporated herein by reference.

[0035] Other devices that incorporate the broadband source may include equipment for characterizing the transmission of fibers or fiber based components. According to such an application an increased power output can lead to an improvement in the dynamic range of measurements, shorter measurement times with less averaging, and higher resolution. For some broadband source and device embodiments that have one material body containing one or more species of transitional-metal ions, the resultant output spectrum can be very broad in of themselves. As mentioned above, Figure 9 represents an example of the invention with an output spectrum from a nickel-doped glass ceramic fiber having the desirable properties of a peak wavelength centered on about 1250 nm, broad spectral bandwidth (~ 250 nm FWHM), and smooth line-shape.

[0036] A broadband source can also be useful when applied to the field of OCT. An optimized device exhibits a high spatial coherence, high brightness and broad bandwidth, the final parameter controlling the depth resolution of the device. Such properties may find welcome use in biological imaging devices. A device like that shown in Figure 10, which uses a 980 nm pump laser diode, is particularly useful in the emerging field of OCT, because it is relatively inexpensive, compact, and an all-fiber source. Furthermore, the spectrum generated is centered at a desirable wavelength away from any strong water absorption peaks, and has a near gaussian line-shape

WO 02/091530

PCT/US02/14000

12

making signal processing of the interferogram relatively easy. The large FWHM of this source offers significant improvements in spatial resolution when used in either OCT or OCDR systems.

[0037] Transition metal-doped fibers offer the potential of resolutions less than 5 microns. In comparison, devices available currently utilize super-luminescent diodes as the luminescence source and achieve resolutions only around 8-20 microns due to the relatively low bandwidth (usually < 70 nm). For future OCT applications a broadband source centered on the 800 nm wavelength is much desired, but resolution capabilities need to be improved from current levels. For instance, 800 nm diodes are employed in particular systems that image eyes with OCT technology but only with a relatively low resolution, because the diodes provide a narrow spectral bandwidth. The present invention provides a solution to this problem. Figure 11 shows the output from another example of a broadband source that may be useful for OCT systems. The broad spectrum from a Cr³⁺-doped glass fiber is centered around 800 nm and exceeds 200 nm in width. Other adjustments can improve the line-shape of these broadband fiber sources. These adjustments may include filtering the output spectrum using a bandpass filter for example, which could be used to improve the gaussian line-shape even further.

[0038] As described before, devices according to current technology are based on single or multiple laser diodes, rare earth doped fiber ASE (amplified spontaneous emission) sources, thermal white light sources, continuum generation utilizing short pulse (fsees) lasers or rapid wavelength tuning of the output from various lasers. None of these technologies exhibit the desired bandwidth of a broadband source according to the present invention, such as a fiber-based embodiment, with accompanying advantages of being a significantly simpler and less expensive device.

[0039] Another application for using broadband source includes spectral sliced source for wavelength division multiplexed (WDM) system applications. Currently, the ASE spectrum from erbium doped fibers has been used to show the potential for this low cost source transition system, mainly for short haul and metro systems. The trade-off in bit rate and optical bandwidth per channel means that a 10Gb/s data rate would require around 3 nm of optical bandwidth per channel, hence a 20 channel system would require over 60nm of bandwidth from the ASE source. The use of transition metal-

WO 02/091530

PCT/US02/14000

13

doped waveguides or fibers could easily meet and exceed this broadband ASE criterion allowing higher bit rates and/or more channels.

[0040] Although the present invention has been described by way of examples, it will be understood by those skilled in the art that the invention is not limited to the embodiments specifically disclosed, and that modifications and variations can be made without departing from the spirit and scope of the invention. Therefore, unless changes otherwise depart from the scope of the invention as defined by the claims that follow, they should be construed as included herein.

We Claim:

1. A broadband source comprising at least one body containing one or more species of transition-metal or rare-earth metal ions, wherein the source produces a broad output spectrum of about at least 150-250 nm bandwidth in a near infrared region, when optically energized.
2. A broadband source comprising at least one body containing one or more species of transition-metal ions, wherein the source produces a broad combined-output spectrum with an intensity that does not deviate from an average intensity by more than ± 10 dB, in a near infrared region, when optically energized.
3. The source according to claim 1, wherein when the body contains more than one species of transition-metal ions, the source produces a broad combined-output spectrum in the near infrared region when optically activated.
4. The source according to claim 1, comprising a material selected from the group consisting of crystalline, glass-ceramic, glass, and organic-polymer matrices.
5. The source according to claim 1, comprising a glass-ceramic material.
6. The device according to claim 4, wherein said material is a transparent forsterite body.
7. The device according to claim 4, wherein said material is a transparent gallate spinel body.
8. The device according to claim 4, wherein said material is a transparent willemite body.
9. The source according to claim 1, wherein said source is incorporated into an optical component device.

10. The source according to claim 9, wherein said device is an optical waveguide.
11. The source according to claim 9, wherein said device is an optical fiber.
12. The source according to claim 9, wherein said device is an amplifier.
13. The source according to claim 9, wherein said device is an optical energizer.
14. The source according to claim 9, wherein said device is used for OCT or OCDR.
15. The source according to claim 1, wherein said transition-metal ions are selected from a group consisting of: Co^{+3} , Cr^{+3} , Cr^{+4} , Cu^{+2} , Cu^{+} , Ni^{+2} , Ti^{+3} , and V^{+2} .
16. The source according to claim 1, wherein said source produces a combined-output spectrum of a relatively level intensity, between about 800 nm to about 1800 nm.
17. The source according to claim 16, wherein said source produces a combined-output spectrum of a relatively level intensity, between about 1050 nm to about 1580 nm.
18. The source according to claim 2, wherein the source further comprises rare-earth ions in said body.
19. The source according to claim 18, wherein said rare earth ions include Er, Tm, Pr, or Nd.
20. A broadband source device comprising at least one body containing one or more species of transition-metal ions, wherein the device produces a broad output spectrum in a near infrared region when optically energized.

21. The device according to claim 20, wherein when said body contains more than one species of transition-metal ions, said device produces a combined-output spectrum with an intensity that does not deviate from an average intensity by more than ± 10 dB.

22. The device according to claim 20, wherein said device has a body made from a material selected from the group consisting of crystalline, glass-ceramic, glass, and organic-polymer matrices.

23. The device according to claim 20, wherein said device has a body made from a glass-ceramic material.

24. The device according to claim 20, wherein said device is an optical component device.

25. The device according to claim 23, wherein said device is an optical waveguide.

26. The device according to claim 23, wherein said device is an optical fiber.

27. The device according to claim 23, wherein said device is an amplifier.

28. The device according to claim 23, wherein said device is an optical energizer.

29. The device according to claim 23, wherein said device is used for OCT or OCDR.

30. The device according to claim 20, wherein said transition-metal ions are selected from a group consisting of: Co^{+3} , Cr^{+3} , Cr^{+4} , Cu^{+2} , Ni^{+2} , Ti^{+3} , and V^{+2} .

31. The device according to claim 20, wherein said device produces a combined-output spectrum of a relatively level intensity between about 800 nm to about 1800 nm.

WO 02/091530

PCT/US02/14000

17

32. The device according to claim 31, wherein said device produces a combined-output spectrum of a relatively level intensity between about 1050 nm to about 1580 nm.

33. The device according to claim 20, wherein the device further comprises rare-earth ions in said body.

34. The device according to claim 33, wherein said rare earth ions include Er, Tm, Pr, or Nd.

35. A device having a broad, simultaneous wavelength range, the device comprising a material doped with transitional-metal ions that exhibit relatively broad fluorescence of about at least 150-250 nm wide, wherein the device emits a combined spectrum having an intensity that does not deviate from an average intensity by more or less than about 10 dB, over a range from about 800 nm to about 1800 nm.

36. The device according to claim 35, wherein said intensity does not deviate from said average intensity by more than about 5 dB.

37. A method for making a broadband source device comprising: providing at least one material containing transition-metal ions, forming said material into an optical component, energizing said transition metals in said material, and emitting a broad, combined fluorescence having an intensity that does not deviate from an average intensity by more or less than about 10 dB, in a spectral region greater than or equal to about 700 nm.

38. The method according to claim 37, further comprising two different material substrates as a body or bodies doped with the same kind of transition metal ions.

39. The method according to claim 37, further comprising providing two or more bodies containing more than one species of transition metal ions.

WO 02/091530

PCT/US02/14000

18

40. A method of producing an optical emission, the method comprises providing at least one material body having at least one or more species of transition metal ions, energizing the body to produce a relatively broad combined-output spectrum of a relatively level intensity, in a near infrared region.

41. The method according to claim 40, may further comprise producing an emission that has an intensity that does not deviate from an average intensity by more than about 10 dB or less, between a spectrum range from about 900-1560 nm.

42. The method according to claim 40, may further comprise providing a body made from a material selected from the group consisting of crystalline, glass-ceramic, glass, and organic-polymer matrices.

43. The method according to claim 40, wherein the material body may be doped with transition metal ions selected from a group consisting of: Co^{+3} , Cr^{+3} , Cr^{+4} , Ni^{+2} , Ti^{+3} , and V^{+2} .

WO 02/091530

PCT/US02/14000

1/11

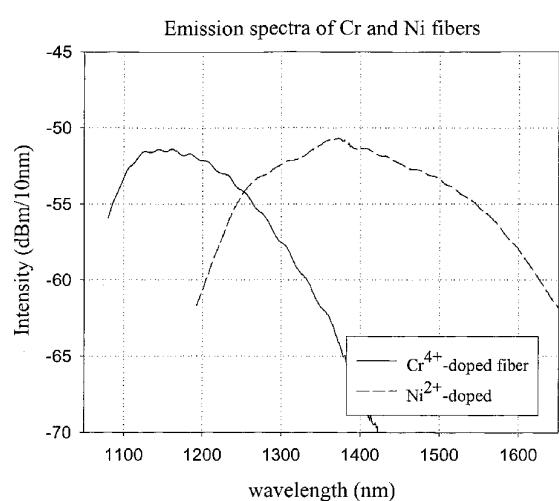


FIGURE 1

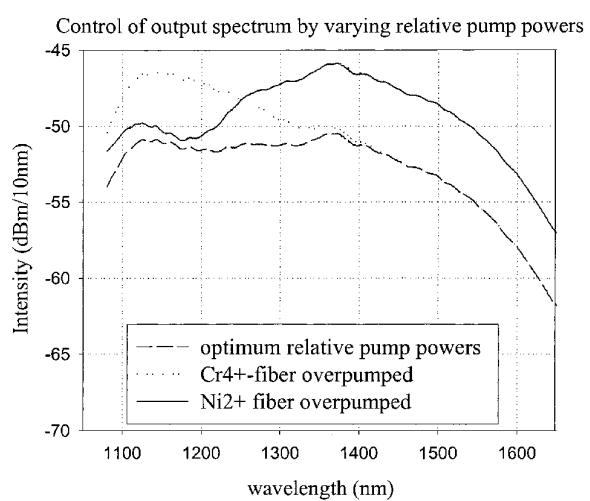


FIGURE 2

Broadband fiber source using Cr/Ni glass ceramic fibers

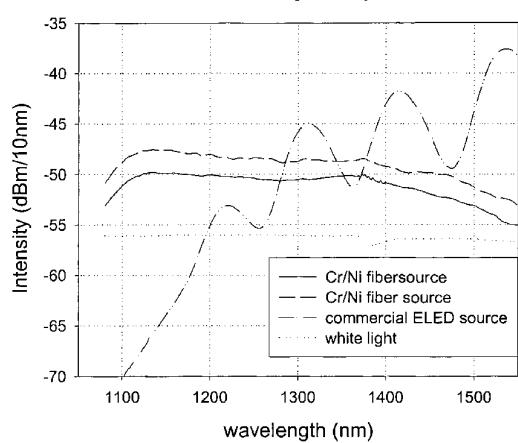


FIGURE 3

WO 02/091530

PCT/US02/14000

4/11

Broadband ASE source using Cr+Ni fibers

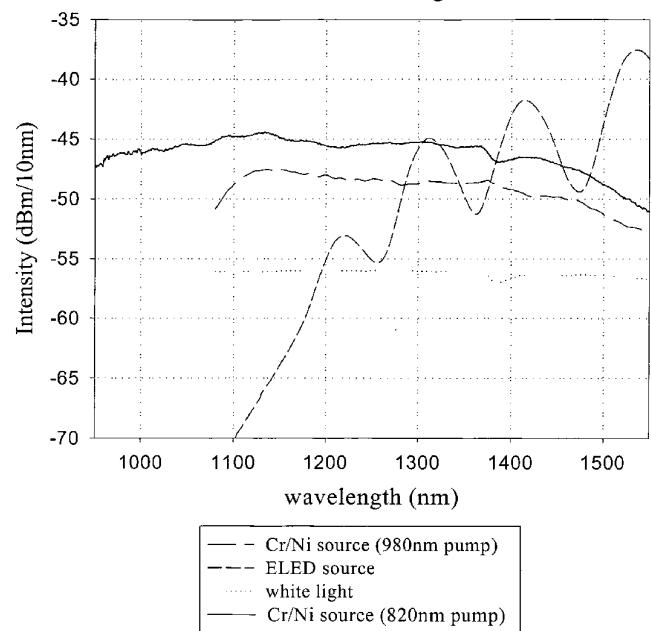


FIGURE 4

WO 02/091530

PCT/US02/14000

5/11

FIGURE 5A

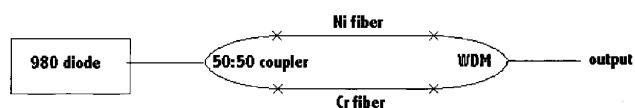
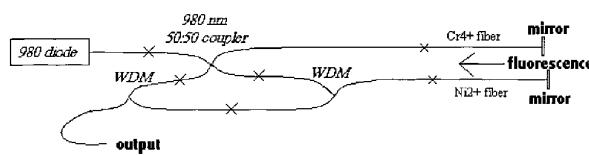


FIGURE 5B

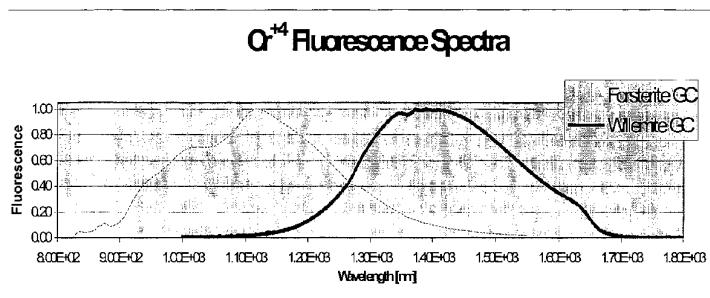


FIGURE 6

WO 02/091530

7/11

PCT/US02/14000

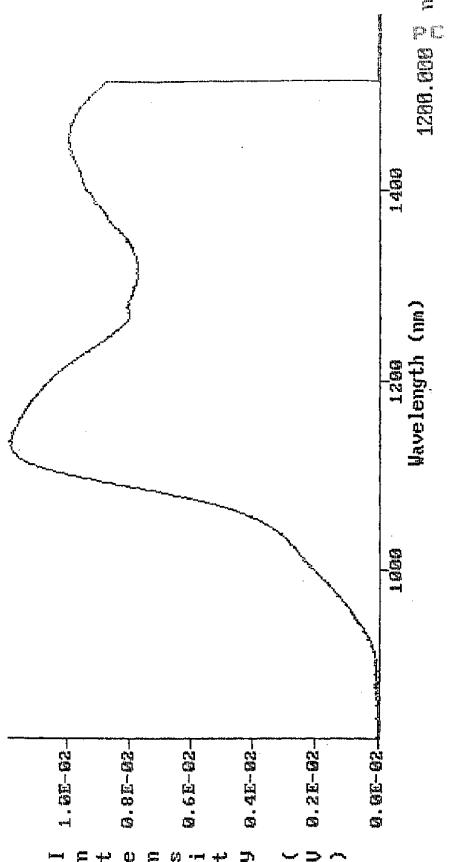


FIGURE 7

WO 02/091530

8/11

PCT/US02/14000

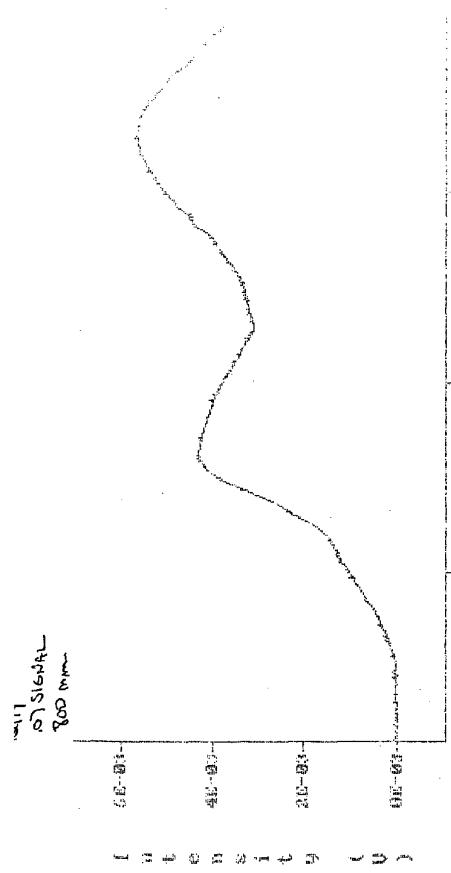


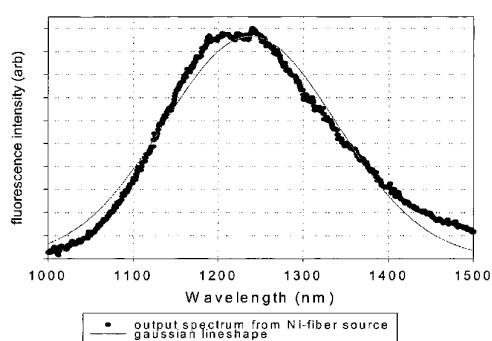
FIGURE 8

WO 02/091530

9/11

PCT/US02/14000

FIGURE 9



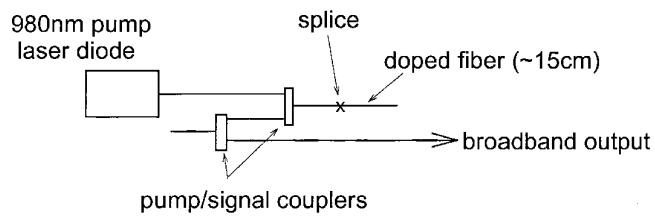


FIGURE 10

WO 02/091530

11/11

PCT/US02/14000

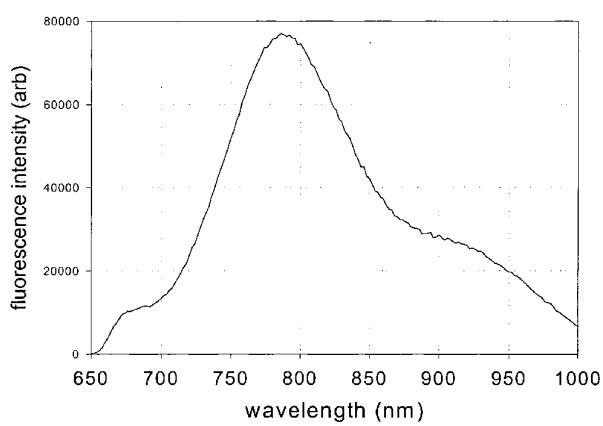
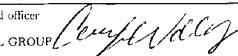


FIGURE 11

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US02/14000
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (IPC7) : H01S 4/067, 8/16, 8/17; C08C 10/02, 10/04, 13/04 US CL. : 359/341.1, 341.5, 343, 501/5,10, 37 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 359/341.1, 341.5, 343, 501/5,10, 37		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A, E	US 6,413,891 B1 (CHO et al) 02 July 2002, col. 2, lines 35-61.	1-43
A,P	US 6,303,527 B1 (PICKNEY) 16 OCTOBER 2001, col. 3, line 44- col. 4 line 8.	1-43
A,P	US 6,300,262 B1 (BEALL) 09 October 2001, col. 3, lines 33-62.	1-43
A,P	US 6,297,179 B1 (BEALL et al) 02 October 2001, col. 5, lines 15- 55.	1-43
A	US 5,717,517 A (ALFANO et al) 10 February 1998, col. 3, lines 50-65.	1-43
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document published on or after the international filing date of the application which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *L* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search 10 JULY 2002	Date of mailing of the international search report 05 AUG 2002	
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20251 Facsimile No. (703) 305-9290	Authorized officer  Telephone No. (703) 308-0661	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)*

フロントページの続き

(72)発明者 ボレリ , ニコラス エフ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14905 エルミラ ウエスト ウォーター ストリート
935

(72)発明者 ダウニー , カレン イー

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14850 イサーク ウォーレン ロード ナンバー8-1
ビー 600

(72)発明者 サムソン , ブライス エヌ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14845 ホースヘッズ ケネディー ドライブ 120
F ターム(参考) 5F172 AE12 AE22 AE30 EE13 NN08