

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4916640号  
(P4916640)

(45) 発行日 平成24年4月18日(2012.4.18)

(24) 登録日 平成24年2月3日(2012.2.3)

(51) Int.Cl. F 1  
G 0 2 F 1/35 (2006.01) G 0 2 F 1/35

請求項の数 7 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2002-509824 (P2002-509824)	(73) 特許権者	591034154 フランス・テレコム
(86) (22) 出願日	平成13年7月10日 (2001.7.10)		フランス、75505 パリ、セデックス ・15、プラス・ダルレ、6
(65) 公表番号	特表2004-503803 (P2004-503803A)	(74) 代理人	100080791 弁理士 高島 一
(43) 公表日	平成16年2月5日 (2004.2.5)	(72) 発明者	マルソー、アレグザンドル フランス国、エフ-78370 プレジ ール、リュ エミール ゾラ、13テール
(86) 国際出願番号	PCT/FR2001/002219	(72) 発明者	ルアリシュ、スリマーヌ フランス国、エフ-35510 セゾン セヴィーニュ、リュ ドウ ラ プルトニ エール 21
(87) 国際公開番号	W02002/005016		
(87) 国際公開日	平成14年1月17日 (2002.1.17)		
審査請求日	平成20年7月9日 (2008.7.9)		
(31) 優先権主張番号	00/09030		
(32) 優先日	平成12年7月11日 (2000.7.11)		
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可飽和吸収構造、特に光学再生コンポーネント用のもの、およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

III-V 材料から作られ、量子の障壁と井戸との連続によって構成される多層スタックを有し、かつ、前記多層スタック内に分布する複数の再結合中心を有する可飽和吸収構造であって、その特徴が、

該再結合中心が、前記多層スタックの該井戸のバンドギャップの略中央に位置している単一の不連続の再結合エネルギーレベルを規定する鉄原子であって、該鉄原子が前記多層スタック内に分布していることである、

前記可飽和吸収構造。

【請求項 2】

前記再結合中心が、 $10^{16} / \text{cm}^3$  と  $10^{18} / \text{cm}^3$  との間の濃度において分布していることを特徴とする、請求項 1 に記載の可飽和吸収構造。

【請求項 3】

前記多層スタックが、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As} / \text{InP}$  連続体を含むことを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の可飽和吸収構造。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 の 1 つに記載の可飽和吸収多重量子井戸構造を得る方法であって、

前記多層スタックの層がエピタキシーによって成長されること、および、前記再結合中心が前記多層スタックの層のエピタキシャル成長の間にドーピングによって導入されることを特徴とする、前記方法。

## 【請求項 5】

請求項 1 ~ 3 の 1 つに記載の可飽和吸収構造を有することを特徴とする、光学コンポーネント。

## 【請求項 6】

請求項 5 に記載のコンポーネントからなることを特徴とする、光学信号再生光学コンポーネント。

## 【請求項 7】

伝送ラインと、該ラインによって伝送される光学信号を発生しかつ受け取るための手段とを有する光ファイバー伝送系であって、

該伝送ライン中に、請求項 6 に記載の光学信号再生光学コンポーネントを少なくとも 1 つ含むことを特徴とする、前記光ファイバー伝送系。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

一般的な技術分野

本発明は、可飽和吸収構造に関するものであり、とりわけ光学信号再生コンポーネント用のものに関する。

## 【0002】

本発明はまた、このような構造の製造方法に関する。

## 【0003】

有利なことには、本発明は、特に、非常に高いデータ速度（2.5 ギガビット/秒）で作動する光ファイバー通信（コミュニケーション）ネットワークにおいて適用可能である。

20

## 【0004】

光ファイバーを通じた伝送は、特にコスト、リンク容量およびリンク品質の点で、およびネットワーク上で与えられる柔軟性の点で、多くの利点を与える。

## 【0005】

特に、都市間のネットワークへの光ファイバーの導入は、大陸間の海底のリンクが増加しているので、現在具体的に現実味を帯びてきている。

## 【0006】

しかし、非常に高いデータ速度の通信は、特定の技術的な困難性（非常に高いデータ速度のモジュレーター、分散補償を伴う伝播、解像度伝播など）によって未だ制限されている。非常に高いデータ速度の達成を可能とする技術は、それらがネットワークに導入され得る前に、未だ、信頼できるように作られねばならない。

30

## 【0007】

波長多重化ネットワークの出現によって、設置された構造を維持しながらもデータ速度を増加させる分野において、非常に大きな進歩を達成することが可能となった。

## 【0008】

光学的なトランスペアレンシ（透過伝送機構）を維持するために、制御すべきであった他のファクターは、インライン光増幅であって、これは、高いバンド幅であり、そして設置されたネットワークとコンパチブルな、信頼性のあるエルビウムドープファイバー光増幅器によって可能となっている。

40

## 【0009】

しかし、高いデータ速度の光ファイバー通信は、いまだ信号再生機能によって制限されたままである。

## 【0010】

これは、リンクの品質が、その中を伝播する信号の品質に大きく依存するからである。ラインの使用は、リンクに沿って、およびネットワークの種々のノードにおいて光学操作の増加を厳密に必要とする。ネットワークの柔軟性を増加させるために、非常に多数の操作、例えば、モニタリング、信号挿入/取出しまたは増幅操作のようなものが追加され得る。それぞれの操作は、劣化を導入し、リンクの品質を少しずつ低下させる。

50

## 【 0 0 1 1 】

これは、伝送ラインに沿って、光学再生コンポーネント（これは、信号の形状を変え、その品質を復元して、できるだけオリジナルのものに近づけるようにすることを可能にする）を分布させることが従来の慣例であるからである。

## 【 0 0 1 2 】

これまでに、データ速度および波長の点で光学的なトランスペアレンシを維持しつつ、信号のインライン再生を可能にするいくつかの解決法が提案されている。

## 【 0 0 1 3 】

先行技術の提示

いくつかの研究室によって現在研究されている1つの技術は、半導体における共振の非線形に基づいており、多重量子井戸構造における飽和吸収の利用に関係している。より詳細には、この技術は、特に、量子井戸における励起子ピークの近傍での光学的な非線形性を利用する。

10

## 【 0 0 1 4 】

この点に関して、例えば、以下の種々の刊行物を参照してもよい。

- R. Takahashi, Y. Kawamura, T. Kagawa および H.Dwamura, Appl. Phys. Lett. 65, p. 1970, 1994、
- E. Lugagne Delpon, J.L. Oudar, N. Bouche, R.Raj. S. Shen, N. Stelmakh および J.M. Lourtioz, Appl. Phys. Lett. 72, p. 759, 1998、
- H. Hirano, H. Kobayashi, H. Tsuda, R.Takahashi, M. Asobe, K. Suto および K. Hagemoko, Electronics Letters 34, p. 198, 1998、
- J. Mangeney, J.L. Oudar, J.C. Harmand, C.Meriadec, G. Patriarche, G. Aubin, N. Stelmakh および J.M.Lourtioz, Appl. Phys. Lett. 76, p. 1371, 2000.

20

## 【 0 0 1 5 】

このタイプのコンポーネントの利点は、「パッシブ（受動）」であること、すなわち、いかなる電氣的供給も必要としないこと（それによってその単純さおよび信頼性を増加させている）である。加えて、それは、「増幅」機能から「再生」機能を分離すること、およびこれら2つの機能を別個に最適化することを可能にする。

## 【 0 0 1 6 】

この構造の量子効率を改善するために、多重量子井戸の活性領域が、一体化されたブラッグミラーを有する垂直キャビティの内側に配置される。その結果、駆動パワーは、半導体レーザーによって送達されるパワーとコンパチブルとなる。

30

## 【 0 0 1 7 】

しかし、重要な問題、すなわち時間的な応答の問題が解決されるべきままである。これは、非線形現象の立ち上がり時間が非常に短く（ $< 1 \text{ p s}$ ）、一方、平衡に戻る時間が比較的長い（ $1 \text{ n s}$ のオーダー）からである。

## 【 0 0 1 8 】

従って、励起子ピーク近傍の多重量子井戸における光学的な非線形性を利用する再生技術は、光学コンポーネントの応答速度の問題に直面する。励起子の吸収は、実質的に瞬間的であり、励起子によるその漂白（ブリーチング）は非常に短く（立ち上がり時間約  $1 \text{ p s}$ ）、一方、平衡への戻りは、キャリアの寿命に支配され、これは、研究された材料においては約数ナノ秒である。

40

## 【 0 0 1 9 】

平衡に戻る時間を改善することは、構造中で光電子的に発生したキャリアの寿命を制御することと等価である。

## 【 0 0 2 0 】

キャリアの寿命をすばやい光学信号の処理とコンパチブルな値まで低下させるための2つの技術が既に公知である。これら2つの技術は、

- 多数の欠陥を含む材料の成長、
- イオン注入法による多数の欠陥の発生である。

50

## 【0021】

これらの技術のうちの第1の手段の一例では、低温（約200）成長操作が行われ、続いてベリリウムドーピングおよび500でのアニーリングが行われる。再結合中心として作用するAsGaアンチサイトおよびBe-As複合体が与えられるならば、この操作は、キャリアが非常に短い寿命を持つ材料を生じる。この技術を用いて、4psの平衡に戻る時間が達成された。

## 【0022】

光学キャパティ中に含まれ、このようにして得られた構造は、10ギガビット/秒で操作する光学再生器を製造することを可能とした。

## 【0023】

しかし、この技術は、2つの主要な欠点を有する。

- 採用するのが複雑である（低温成長、 $4 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ までのBeドーピングおよび500でのアニーリング）、
- 励起子ピークが減衰する傾向があり、これは成長およびベリリウムドーピング後に実験的に観察されるコンポーネントの操作に不利である。

## 【0024】

第2番目の公知の技術は、高エネルギーイオン衝撃を利用して欠陥を発生させることからなる。加速イオンは、経路の主要部分にわたる静電減速によって、および停止領域における格子の原子との衝突によってエネルギーを失い、その結果、多数の欠陥がこの領域に生成される。欠陥を発生させるこの先行技術は、12MeVまで加速された重Ni<sup>+</sup>イオンを照射されたAlInAs/GaInAs多重量子井戸で使用されている。 $5 \times 10^{10}$ から $10^{12}$ 毎 $\text{cm}^2$ まで変化する照射線量について、寿命は50psから1.6psまでのレンジをとる。

## 【0025】

この技術を用いて、イオンの軌道全体にわたって欠陥が得られ、これらの欠陥は、活性材料のバンドギャップ全体内に分布するレベルを有する。これらの欠陥の存在は、InPのような高いバンドギャップ材料における実際の吸収を顕著に増加させる。

## 【0026】

しかし、この付加的な吸収のために励起子ピーク近傍での吸収コントラストはかなり減衰しており、このコントラストは照射線量が増加する場合に減少することが指摘されるべきである。

## 【0027】

加えて、これらの照射欠陥は、不安定であることが知られている；該構造のプロパティの長期安定性は実証すべきままである。

## 【0028】

最後に、該処理は非常に高価である。なぜなら、これは、光学コンポーネントがエピタキシーチャンバーから重イオン加速器まで通過することを必要とし、これは、かさ高く、複雑でかつ設置コストが非常に高いからである。

## 【0029】

発明の要旨

本発明は、再結合中心を有する可飽和多重量子井戸の吸収構造を備えており、該構造は、平衡に戻る時間が非常に短く、その結果、すばやい光学信号処理（>10ギガビット/秒）に匹敵する時間での光学信号再生を可能とする。

## 【0030】

提案する構造は、高い吸収効率を有する。

## 【0031】

それはまた、非常に良好な長期安定性を示す。

## 【0032】

より詳細には、本発明が提案する構造は、一方では量子井戸と障壁との連続を構成する多層スタックと、他方では該スタック内に分布する複数の再結合中心とを有する可飽和吸収

10

20

30

40

50

構造であって、その特徴は、該再結合中心が、該スタックの材料と共に、該スタックの井戸の伝導帯と価電子帯との間に規定されるエネルギーバンドギャップ中に1つ以上の不連続のエネルギーレベルを規定するような材料から作られていることである。

【0033】

この点に関して、上記のような先行技術を用いて得られる構造の場合、再結合中心は多重量子井戸構造のバンドギャップ全体にわたって分布したエネルギーレベルを有し、この結果、寄生的吸収が現れることに留意すべきである。

【0034】

提案した構造に関して、再結合エネルギーレベルは不連続であり、これはこれらの寄生的吸収を防止する。

10

【0035】

しかし、バンドギャップ中にただ1つの再結合エネルギーレベル（このエネルギーレベルは不連続である）しか存在しない構造は、これらの構造がより高い吸収効率を示す限り、好ましい。

【0036】

さらに、再結合中心は、不連続の再結合エネルギーレベルが実質的にバンドギャップの中央に位置しているような材料から作られるよう有利に選択される。すなわち、キャリアの捕捉効率が最適である地点で、このような再結合中心は、光電子的に発生した両方のタイプのキャリア（電子および正孔）に対して効率的に作用する。

【0037】

特に、再結合中心が鉄原子であると共に、スタックの層がIII-V材料から作られていることが有利である。このとき、バンドギャップの中央を中心とするただ1つの不連続の再結合エネルギーレベルが存在する。

20

【0038】

例えば、スタックは、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As} / \text{InP}$ 連続体を含んでいてもよい。

【0039】

しかし、スタックの層や再結合中心のための、他の材料も考え得る。

【0040】

さらに、本発明は、このような構造の製造方法を提供し、これは上記の製造方法よりもずっとより簡単である。

30

【0041】

この方法によれば、スタックの層は、エピタキシーによって成長され、再結合中心は、該スタックの層のエピタキシャル成長の間に、ドーピングによって導入される。

【0042】

理解されるであろうが、このような方法を用いれば、単一の技術操作において、再結合中心が後者の成長の間に該構造に導入される。

【0043】

さらに、このような方法は、空間位置およびドーピングの濃度を正確に制御できるという利点を有する。

【0044】

本発明は、さらに、光学コンポーネントに関するものであり、特に、光学信号再生コンポーネントに関し、これは、上記タイプの可飽和吸収構造を有するものである。

40

【0045】

本発明はまた、伝送ラインと、該ラインによって伝送される光学信号を発生しかつ受け取るための手段とを有する光ファイバー伝送系に関するものであり、これは、該伝送ライン中に上記タイプの再生コンポーネントを少なくとも1つ含んでいる。

【0046】

本発明のさらなる特徴および利点は、以下の説明からより明確になるであろう。以下の説明は、単に例示でありかつ非限定的であり、添付の図面と共に読むべきである。

【0047】

50

1つ以上の実施態様の説明および実施例

本発明の1つの可能な実施態様による可飽和吸収構造の一例は、50の  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{InP}$  多重量子井戸のスタックを含む構造であり、この励起子吸収ピークは約  $1.57\ \mu\text{m}$  に位置する。

【0048】

例として、 $\text{InGaAs}$  層は  $8\ \text{nm}$  であり、一方、 $\text{InP}$  層は  $10\ \text{nm}$  である。

【0049】

鉄 ( $\text{Fe}$ ) ドーピング (これは、当該構造における再結合中心を規定する) は、後者のエピタキシャル成長の間に、このスタックの種々の層に導入される。

【0050】

成長の間にドーピングによって再結合中心を導入するという事実は、これらの捕捉中心の空間位置が正確に制御されかつ任意の他の領域の排除に対して必要な領域にのみ位置していることを可能とすることに留意すべきである。

【0051】

さらに、意図されるコンポーネントに厳密に必要なキャリア寿命の値を得るために、捕捉中心の濃度は制御され、調整され得る。

【0052】

前述のタイプの構造における吸収飽和の、戻り - 平衡特性への鉄ドーピングの影響を考慮した。本発明者らによって得られた結果を図1~4に与える。

【0053】

図1は、ポンプ - プロブ実験を用いて2つの試料に対して行われた平衡への戻りの時間の測定を示す。

【0054】

第1のものは、コントロール試料であり、鉄はドーピングしていない。吸収飽和の平衡への戻りの時間は、約  $7\ \text{ns}$  であることが分かるであろう。

【0055】

第2の試料は、高度にドーピングされており、約  $10^{18}/\text{cm}^3$  の鉄濃度を有する。その戻り - 平衡時間の定数は  $20\ \text{ps}$  まで低下した。

【0056】

図2は、伝送コントラストの変化を、同じ2つの試料において光電子的に発生したキャリアの数の関数として示す。作られたキャリアの数は、当該構造における光強度に直接比例する。伝送コントラスト  $T/T_0$  は、高強度に供された構造の光伝送係数と、低光強度での構造の光伝送係数との間の伝送の差  $\Delta T$  の、測定した伝送係数  $T$  に対する比率である。

【0057】

高度にドーピングされた試料の場合、伝送コントラストはコントロール試料の伝送コントラストと等しいままであることが分かるであろう。従って、この方法は、構造の平衡への戻りの時間を減少させ、一方でその特性を維持することができる。

【0058】

3つのさらなる鉄ドーピングされた試料を研究し、鉄ドーピングされていないコントロールと比較した。

【0059】

これらの試料を、本発明の方法に従って成長させつつ、ドーピングした。それらの濃度は、遊離キャリアの数を測定することができるホール技術によって概算した。構造におけるキャリアの総数は、ドーパント濃度と鉄によって表される捕捉中心の濃度との間の差異に相当する。この方法によって得られる鉄濃度の値は、最小でドーピングされた試料の場合の  $10^{16}/\text{cm}^3$  から最大でドーピングされた試料の場合の  $10^{18}/\text{cm}^3$  まで変化する。

【0060】

図3は、ポンプ - プロブを用いてこれらの試料に対して行った平衡への戻りの時間の測定を示す。曲線の試験は、平衡への戻りの時間に対する鉄ドーピングの効果を示す。この時間の値は、コントロール試料の場合の  $7\ \text{ns}$  から最もドーピングされた試料の場合の  $20\ \text{ps}$

10

20

30

40

50

sまで変化する。鉄濃度を制御することによって、構造の平衡への戻りの時間を制御することが可能となる。

【0061】

図4は、伝送コントラストの変化を、これらの同じ試料において光電子的に発生したキャリアの数の関数として示す。この伝送コントラストに対する鉄ドーピングの影響を実証するために、種々のドーパント濃度について得た曲線を、同じグラフ上に示した。コントラストは濃度と無関係のままであり、これは調査した光強度の値のすべてについてそうであったことが分かるであろう。従って、提案した方法は、種々の伝送コントラスト測定によって証明されたように、構造の効率を維持しつつ、その平衡への戻りの時間を制御することを可能とする。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、本発明の1つの可能な実施態様によるドーパされた構造の場合、およびドーパされていない構造の場合の、標準化した伝送速度曲線を平衡に戻る速度の関数としてプロットしたグラフである。

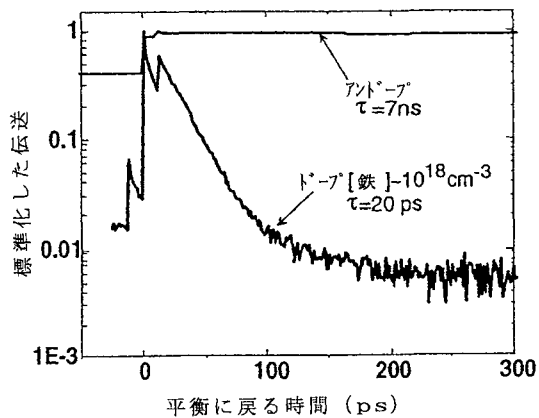
【図2】 図2は、本発明の1つの可能な実施態様によるドーパされた構造の場合、およびドーパされていない構造の場合の、コントラストの変化をポンプキャリアの密度の関数としてプロットしたグラフである。

【図3】 図3は、平衡に戻る時間をドーパントの濃度の関数としてプロットしたグラフである。

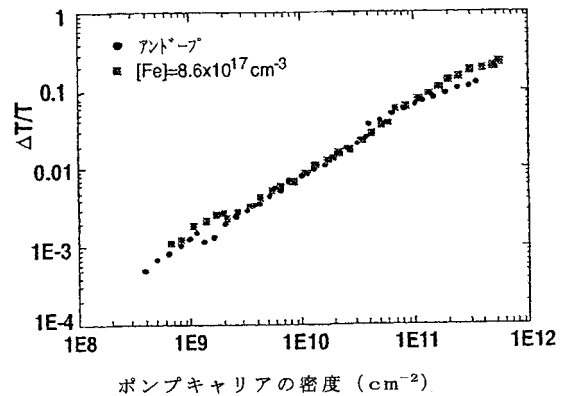
【図4】 図4は、種々のドーピング濃度の値について、コントラストの変化を、ポンプによって発生したキャリアの密度の関数としてプロットしたグラフである。

20

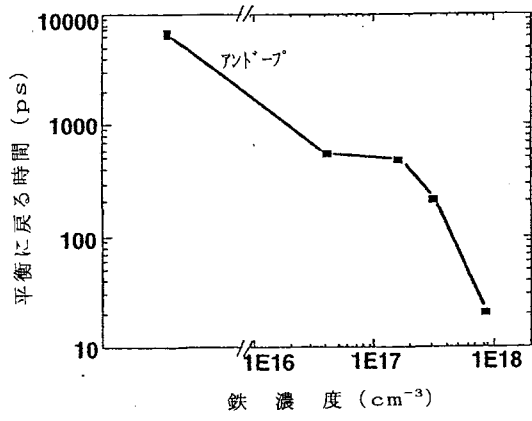
【図1】



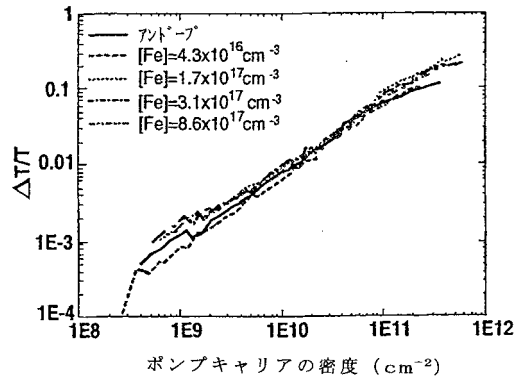
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】





## フロントページの続き

- (72)発明者 ル コール、アラン  
フランス国、エフ - 3 5 5 1 0 セゾン セヴィーニュ、ラ トゥーシュ オリー (番地なし)
- (72)発明者 デアース、オリヴィエ  
フランス国、エフ - 3 5 1 3 6 サン ジャック デ ラ ランド、アンパース ドゥ ラ クロ  
ワ ブランシュ 4

審査官 林 祥恵

- (56)参考文献 特開平05 - 013814 (JP, A)  
特開平02 - 005028 (JP, A)  
特開平05 - 041529 (JP, A)  
特開2000 - 261100 (JP, A)  
特開平11 - 101959 (JP, A)  
E. Lugagne Delpon, et al., "Ultrafast excitonic saturable absorption in ion-implanted InGaAs/InAlAs multiple quantum wells", Applied Physics Letters, 1998年 2月16日, Vol. 72, No. 7, p.759-761  
A. Hirano, et al., "10Gbit/s RZ all-optical discrimination using refined saturable absorber optical gate", Electronics Letters, 1998年 1月22日, Vo. 34, No. 2, p.198-199

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/00-1/125  
G02F 1/35  
H01L 33/00