

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-85842

(P2010-85842A)

(43) 公開日 平成22年4月15日(2010.4.15)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 0 2 B 6/00 (2006.01) G 0 2 B 6/00 3 7 6 Z 2 H 1 5 O

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-256431 (P2008-256431)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成20年10月1日 (2008. 10. 1)		住友電気工業株式会社
			大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
		(71) 出願人	504173471
			国立大学法人北海道大学
			北海道札幌市北区北8条西5丁目
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良

最終頁に続く

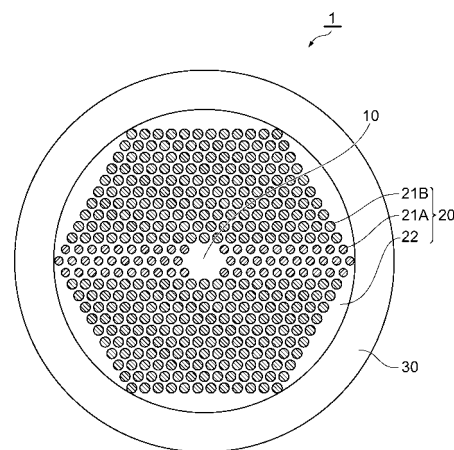
(54) 【発明の名称】 光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】より狭帯域の光フィルタとして用いられ得る光ファイバ(PBGF)を提供する。

【解決手段】本発明のPBGFは、コア領域10と、このコア領域を取り囲むクラッド領域20と、このクラッド領域を取り囲むジャケット領域30とを有する光ファイバであって、ファイバ軸に沿って一様である屈折率分布を有し、クラッド領域20がファイバ軸に垂直な断面において低屈折率背景領域22に高屈折率領域21A、21Bが三角格子状に配列された二次元周期構造を有し、コア領域10が断面の中央部における二次元周期構造の欠陥によって形成され、クラッド領域20の二次元周期構造が互いに異なるM種類の周期構造を含み、クラッド領域20におけるM種類の周期構造それぞれの領域がジャケット領域30に接する。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

コア領域と、このコア領域を取り囲むクラッド領域と、このクラッド領域を取り囲むジャケット領域とを備え、

ファイバ軸に沿って一様な屈折率分布を有し、

前記クラッド領域がファイバ軸に垂直な断面において低屈折率背景領域に高屈折率領域が三角格子状に配列された二次元周期構造を有し、

前記コア領域が前記断面の中央部における前記二次元周期構造の欠陥によって形成され、

前記クラッド領域の前記二次元周期構造が互いに異なる M 種類の周期構造を含み、

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造それぞれの領域が前記ジャケット領域に接する、

ことを特徴とする光ファイバ（ただし、M は 2 以上の整数）。

【請求項 2】

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造それぞれの領域が前記コア領域に接する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 3】

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造の間で、周期に対する前記高屈折率領域の相対的な大きさが互いに異なる、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 4】

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造の間で、前記高屈折率領域の屈折率が互いに異なる、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 5】

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造それぞれが、前記コア領域の中心位置に関して N 回対称である領域を占める、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ（ただし、N は 2 以上の整数）。

【請求項 6】

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造のうちの何れかの周期構造が帯状の領域を占める、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 7】

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造それぞれが、前記コア領域の中心位置からの径方向の距離が大きいほど周方向の幅が広い領域を占める、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【請求項 8】

前記クラッド領域における前記 M 種類の周期構造それぞれの領域の間に、前記コア領域から前記ジャケット領域に到る帯状の周期構造欠陥領域が設けられている、ことを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバ。

【請求項 9】

前記コア領域が、三角格子状の二次元周期構造の周期構造のうちの 1 つの格子点と、この格子点の周囲にある直近の 6 つの格子点とにおいて、高屈折率領域が取り除かれることで形成されたものである、ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光ファイバに関するものである。

【背景技術】**【0002】**

フォトリックバンドギャップファイバ（photonic bandgap fiber、以下「PBGF」という場合がある。）は、コア領域と、このコア領域を取り囲むクラッド領域と、このクラッド領域を取り囲むジャケット領域とを有し、ファイバ軸に沿って一様である屈折率分布

10

20

30

40

50

を有する光ファイバである。そして、P B G Fでは、クラッド領域は、ファイバ軸に垂直な断面において低屈折率背景領域に高屈折率領域が三角格子状に配列された二次元周期構造を有し、コア領域は、断面の中央部における二次元周期構造の欠陥によって形成されている。このようなP B G Fは、クラッド領域における二次元周期構造に由来する透過帯域および遮断帯域を有しているので、光フィルタとして用いられ得る（非特許文献1を参照）。

【非特許文献1】A. Wang, A. K. George and J. C. Knight, "Three-level neodymium fiberlaser incorporating photonic bandgap fiber", Opt. Lett., Vol.31, No.10, pp. 1388-1390 (2006).

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、光フィルタとしてのP B G Fの透過特性は、クラッド領域における二次元周期構造により決定され、狭帯域化には限界がある。本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、より狭帯域の光フィルタとして用いられ得る光ファイバ（P B G F）を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明に係る光ファイバは、コア領域と、このコア領域を取り囲むクラッド領域と、このクラッド領域を取り囲むジャケット領域とを備え、ファイバ軸に沿って一様な屈折率分布を有し、クラッド領域がファイバ軸に垂直な断面において低屈折率背景領域に高屈折率領域が三角格子状に配列された二次元周期構造を有し、コア領域が断面の中央部における二次元周期構造の欠陥によって形成され、クラッド領域の二次元周期構造が互いに異なるM種類の周期構造を含み、クラッド領域におけるM種類の周期構造それぞれの領域がジャケット領域に接することを特徴とする。ただし、Mは2以上の整数である。

20

【0005】

この光ファイバでは、クラッド領域におけるM種類の周期構造それぞれの寄与に因る透過特性は互いに異なる。光ファイバ全体としての透過帯域は、各周期構造の寄与による透過帯域が互いに重なる帯域となるので、狭帯域のものとなり得る。

【0006】

30

本発明に係る光ファイバでは、クラッド領域におけるM種類の周期構造それぞれの領域がコア領域に接するのが好適である。

【0007】

本発明に係る光ファイバでは、クラッド領域におけるM種類の周期構造の間で、周期に対する高屈折率領域の相対的な大きさが互いに異なるのが好適であり、高屈折率領域の屈折率が互いに異なるのも好適である。

【0008】

本発明に係る光ファイバでは、クラッド領域におけるM種類の周期構造それぞれが、コア領域の中心位置に関してN回対称である領域を占めるのが好適であり、また、クラッド領域におけるM種類の周期構造のうちの何れかの周期構造が帯状の領域を占めるのも好適である。ただし、Nは2以上の整数である。偏波依存性を低減する上ではNは奇数であるのが好適である。

40

【0009】

本発明に係る光ファイバでは、クラッド領域におけるM種類の周期構造それぞれが、コア領域の中心位置からの径方向の距離が大きいほど周方向の幅が広い領域を占めるのが好適であり、この場合に、クラッド領域におけるM種類の周期構造それぞれの領域の間に、コア領域からジャケット領域に到る帯状の周期構造欠陥領域が設けられているのも好適である。

【0010】

50

本発明に係る光ファイバでは、コア領域が、三角格子状の二次元周期構造の周期構造の

うちの１つの格子点と、この格子点の周囲にある直近の６つの格子点とにおいて、高屈折率領域が取り除かれることで形成されたものであるのが好適である。

【発明の効果】

【００１１】

本発明に係る光ファイバは、より狭帯域の光フィルタとして用いられ得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１２】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための最良の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【００１３】

図１は、フォトリソバンドギャップファイバ（ＰＢＧＦ）９の断面図である。この図は、ＰＢＧＦ９のファイバ軸に垂直な断面を示している。この図に示されるＰＢＧＦ９は、コア領域１０と、このコア領域１０を取り囲むクラッド領域２０と、このクラッド領域２０を取り囲むジャケット領域３０とを有し、ファイバ軸に沿って一様である屈折率分布を有する光ファイバである。このＰＢＧＦ９は、オールソリッドのものであって、空孔を有しない。

【００１４】

ＰＢＧＦ９のクラッド領域２０は、ファイバ軸に垂直な断面において、低屈折率背景領域２２に高屈折率領域２１が三角格子状に配列された二次元周期構造を有する。コア領域１０は、断面の中央部における二次元周期構造の欠陥によって形成されている。また、Ｐ

【００１５】

具体的には、クラッド領域２０の断面における屈折率分布の二次元周期構造は、二次元三角格子の各格子点上に配置された高屈折率領域２１と、略均一の屈折率を有する低屈折率背景領域２２とからなる。断面の中央部において高屈折率領域２１が欠けている領域がコア領域１０となる。

【００１６】

コア領域１０は、三角格子状の二次元周期構造の周期構造のうちの或る１つの格子点において高屈折率領域が取り除かれることで形成されたものであってもよい。また、コア領域１０は、図示のとおり、三角格子状の二次元周期構造の周期構造のうちの或る１つの格子点と、この格子点の周囲にある直近の６つの格子点とにおいて、高屈折率領域が取り除かれることで形成されたものであってもよい。

【００１７】

高屈折率領域２１の屈折率は、低屈折率背景領域２２の屈折率と比べて高い。例えば、高屈折率領域２１は、Ge, Cl, Ti, Alのうち少なくとも１種の元素が添加されたシリカガラスからなる。また、低屈折率背景領域２２は、純シリカガラスまたはF, B, Clのうち少なくとも１種の元素が添加されたシリカガラスからなる。

【００１８】

図２に示されるＰＢＧＦ９は例えばスタックアンドドロ法などにより容易に製造され得る。図２は、スタックアンドドロ法によるＰＢＧＦ９の製造方法の一例を説明する図である。スタックアンドドロ法では、同図に示されるように各種のロッド１１０, １２１, １２２をジャケット管１３０内に規則的に配列したプリフォームを用意し、これをコラプス後に線引または直接線引することで、図１に示されるような断面構造を持つＰＢＧＦ９が得られる。

【００１９】

ロッド１１０, １２１それぞれの直径は互いに等しい。１本のロッド１１０の周りに６本のロッド１１０が配置され、更にその周りに多数のロッド１２１が三角格子状に規則正しく配置され、これらがジャケット管１３０内に挿入されるとともに、これらとジャケット管１３０との隙間を埋めるようにロッド１２２が挿入される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

7本のロッド110は、線引後にコア領域10となるべきものである。ロッド121, 122は、線引後にクラッド領域20となるべきものである。そのうち、ロッド121の中心部は線引後に高屈折率領域21となるべき領域であり、これの周囲の部分は線引後に低屈折率背景領域22となるべき領域である。ジャケット管130は、線引後にジャケット領域30となるべきものである。ロッド110, 121, 122は、通常の光ファイバ母材の製造方法と同様の方法（例えばMCVD法やOVD法やコラップス法など）により製造され、また、必要に応じて外周が機械研削またはHFエッチングされる。

【 0 0 2 1 】

図3は、PBGF9の損失スペクトルの一例を示す図である。PBGF9の全損失は、材料損失および曲げ損失に加えて、クラッド領域20の断面における屈折率分布の二次元周期構造に基づく不連続な損失を含む。また、フォトリックバンドギャップ効果によって光が導波される場合は、PBGF9の全損失は閉じ込め損をも含む。二次元周期構造に基づく損失は、光の波長だけでなく、屈折率や、二次元周期構造のピッチや外径などのパラメータによって決定される。

【 0 0 2 2 】

この図に示されるように、PBGF9の損失スペクトルにおいては、クラッド領域20における二次元周期構造に由来して、透過帯域と遮断帯域とが交互に存在する。PBGF9は、このような損失スペクトルを有しているので、波長選択性を有する光フィルタとして用いられる。しかしながら、光フィルタとしての通常のPBGF9の透過特性は、クラッド領域20における二次元周期構造により決定され、狭帯域化には限界がある。

【 0 0 2 3 】

これに対して、本実施形態に係るフォトリックバンドギャップファイバ(PBGF)は、クラッド領域20における二次元周期構造に特徴を有していて、これにより狭帯域化を可能とするものである。すなわち、本実施形態に係るPBGFは、クラッド領域20の二次元周期構造が互いに異なるM種類の周期構造を含み、クラッド領域20におけるM種類の周期構造それぞれの領域がジャケット領域30に接している。また、本実施形態に係るPBGFは、クラッド領域20におけるM種類の周期構造それぞれの領域がコア領域10に接しているのが好ましい。ここで、Mは2以上の整数である。本実施形態に係るPBGFは、クラッド領域20がこのような構造を有することにより、狭帯域の光フィルタとして用いられ得る。

【 0 0 2 4 】

図4は、PBGFのフォトリックバンドダイアグラムを示す図である。同図(a)および同図(b)では、いずれも、クラッド領域20において低屈折率背景領域22に対する高屈折率領域21の屈折率分布がステップ型であると仮定して、PBGFのフォトリックバンドダイアグラムを計算により求めた。また、高屈折率領域21の径をdとし、高屈折率領域21の配置の周期(ピッチ)を Λ としたとき、比(d/Λ)が0.6よりも大きいと、バンドギャップの底が深くなって曲げに強くなること、および、ピッチ Λ を小さくできることから、ここでは、比(d/Λ)が0.6である場合を基準とした。

【 0 0 2 5 】

同図(a)は、図1に示される構成において、高屈折率領域21の比屈折率差 Δ を3%とし、比(d/Λ)を0.6としたときの、PBGFのフォトリックバンドダイアグラムを示す。この図に示されるように、第2バンドの短波長側のエッジは、規格化波長(λ/Λ)0.18付近に存在する。ここで、 λ は光の波長である。高屈折率領域21の比屈折率差を固定して、比(d/Λ)を大きくしていくと、バンド図は相対的に右へ(長波長側へ)シフトしていく。

【 0 0 2 6 】

同図(b)は、図1に示される構成において、高屈折率領域21の比屈折率差 Δ を3%とし、比(d/Λ)を0.6および0.7それぞれとしたときの、PBGFのフォトリックバンドダイアグラムを示す。この図に示されるように、比(d/Λ)を0.6とした場合

10

20

30

40

50

における第 2 バンドの短波長側のエッジと、比 (d/Λ) を 0.7 とした場合における第 3 バンドの長波長側のエッジとは、規格化波長 (λ/Λ) 0.18 付近でわずかに重なる領域が生じる。

【0027】

以上のことから、本実施形態に係る PBGF は、クラッド領域 20 の二次元周期構造が互いに異なる M 種類の周期構造を含む構造とすることにより、狭帯域の光フィルタとして用いられ得る。クラッド領域 20 における M 種類の周期構造の間で、比 (d/Λ) が互いに異なるのも好適であり、また、高屈折率領域 21 の屈折率が互いに異なるのも好適である。また、クラッド領域 20 における M 種類の周期構造それぞれは、コア領域 10 の中心位置に関して N 回対称である領域を占めるのが好適である。ここで、N は 2 以上の整数である。

10

【0028】

図 5 は、第 1 実施形態に係る光ファイバ (PBG F) 1 の断面図である。また、図 6 は、第 2 実施形態に係る光ファイバ (PBG F) 2 の断面図である。これらの図は、PBG F 1 および PBGF 2 それぞれのファイバ軸に垂直な断面を示している。これらの図に示される PBGF 1 および PBGF 2 それぞれは、コア領域 10 と、このコア領域 10 を取り囲むクラッド領域 20 と、このクラッド領域 20 を取り囲むジャケット領域 30 とを有し、ファイバ軸に沿って一様である屈折率分布を有する光ファイバである。この PBGF 1 および PBGF 2 それぞれは、オールソリッドのものであって、空孔を有しない。

【0029】

20

これらの図に示される PBGF 1 および PBGF 2 それぞれは、図 1 に示された PBGF 9 の構成と比較すると、クラッド領域 20 の二次元周期構造が互いに異なる 2 種類の周期構造を含み、これら 2 種類の周期構造それぞれにおいて比 (d/Λ) が互いに異なっている。すなわち、クラッド領域 20 において、低屈折率背景領域 22 に対して 2 種類の高屈折率領域 21 A, 21 B が三角格子状に配列されて二次元周期構造をなしている。高屈折率領域 21 A, 21 B は、径 d が互いに異なる。図において、高屈折率領域 21 A, 21 B は互いに異なるハッチングで示されている。

【0030】

図 5 に示される第 1 実施形態に係る PBGF 1 では、クラッド領域 20 における 2 種類の周期構造それぞれは、コア領域 10 の中心位置に関して 2 回対称である領域を占めている。より具体的には、高屈折率領域 21 A が三角格子状に配列されてなる一方の周期構造は、3 列の格子列幅の帯状の領域を占めている。また、高屈折率領域 21 B が三角格子状に配列されてなる他方の周期構造は、上記帯状の領域とは異なる領域を占めている。このような構成では、バンドの中央付近では水平方向および垂直方向への閉じ込め効果があるのでコアモードが存在するが、短波長側では水平方向への閉じ込め効果がなくなり、長波長側では垂直方向への閉じ込め効果がなくなるので、バンドパス特性が得られる。

30

【0031】

図 6 に示される第 2 実施形態に係る PBGF 2 では、クラッド領域 20 における 2 種類の周期構造それぞれは、コア領域 10 の中心位置に関して 3 回対称である領域を占めている。より具体的には、高屈折率領域 21 A が三角格子状に配列されてなる一方の周期構造は、コア領域 10 の中心位置からの径方向の距離が大きいほど周方向の幅が広い領域 (略扇形状または略三角形の 3 つの領域) を占めている。また、高屈折率領域 21 B が三角格子状に配列されてなる他方の周期構造は、上記の一方の周期構造が占めるとは異なる領域であって、コア領域 10 の中心位置からの径方向の距離が大きいほど周方向の幅が広い領域 (略扇形状または略三角形の 3 つの領域) を占めている。

40

【0032】

さらに、高屈折率領域 21 A が三角格子状に配列されてなる一方の周期構造の領域と、高屈折率領域 21 B が三角格子状に配列されてなる他方の周期構造の領域との間に、コア領域 10 からジャケット領域 30 に到る帯状の周期構造欠陥領域が設けられている。このような構成では、短波長側では一方の周期構造の方向へ光波が放射し、長波長側では他方

50

の周期構造の方向へ光波が放射するので、バンドパス特性が得られる。また、このような構成では、3回対称性を有しているので、理論的には偏波依存性は生じない。

【0033】

次に、P B G F 1 および P B G F 2 それぞれにおいて、高屈折率領域 2 1 A の比 (d/Λ) を 0.6 とし、高屈折率領域 2 1 B の比 (d/Λ) を 0.7 とした場合の、閉じ込め損失および透過率それぞれの波長依存性ならびに断面における光強度分布を計算により求めた結果を示す。また、高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B それぞれの屈折率分布がステップ型である場合、および、その屈折率分布がグレーデッド型である場合、それぞれについて計算を行った。

【0034】

図 7 は、第 1 実施形態に係る P B G F 1 (図 5) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がステップ型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。同図 (a) は P B G F 1 の閉じ込め損失の波長依存性を示し、同図 (b) は P B G F 1 の透過率の波長依存性を示す。図 8 は、これと同じ場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。同図 (a) は波長 1545 nm の場合の光強度分布を示し、同図 (b) は波長 1551 nm の場合の光強度分布を示し、同図 (c) は波長 1563 nm の場合の光強度分布を示す。ここで、高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B と低屈折率領域 2 2 との比屈折率差を 3% とし、透過帯域の中心波長を 1550 nm 付近に設定するために、周期 Λ を 8.5 μm とした。クラッド領域 2 0 における高屈折率領域の層数を 10 とした。また、ファイバ長を 1 m とした。これらの図から判るように、1550 nm 帯において狭帯域のバンドパス特性が得られた。

【0035】

図 9 は、第 2 実施形態に係る P B G F 2 (図 6) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がステップ型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。同図 (a) は P B G F 2 の閉じ込め損失の波長依存性を示し、同図 (b) は P B G F 2 の透過率の波長依存性を示す。図 10 は、これと同じ場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。同図 (a) は波長 1550 nm の場合の光強度分布を示し、同図 (b) は波長 1554 nm の場合の光強度分布を示し、同図 (c) は波長 1569 nm の場合の光強度分布を示す。ここで、高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B と低屈折率領域 2 2 との比屈折率差を 3% とし、透過帯域の中心波長を 1550 nm 付近に設定するために、周期 Λ を 8.5 μm とした。クラッド領域 2 0 における高屈折率領域の層数を 10 とした。また、ファイバ長を 1 m とした。これらの図から判るように、1550 nm 帯において狭帯域のバンドパス特性が得られた。

【0036】

図 11 は、第 1 実施形態に係る P B G F 1 (図 5) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。同図 (a) は P B G F 1 の閉じ込め損失の波長依存性を示し、同図 (b) は P B G F 1 の透過率の波長依存性を示す。図 12 は、これと同じ場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。同図 (a) は波長 1538 nm の場合の光強度分布を示し、同図 (b) は波長 1550 nm の場合の光強度分布を示し、同図 (c) は波長 1574 nm の場合の光強度分布を示す。ここで、高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B の純シリカに対する比屈折率差の最大値を 2.64% とし、低屈折率背景領域 2 2 の純シリカに対する比屈折率差を -0.76% とした。透過帯域の中心波長を 1550 nm 付近に設定するために、周期 Λ を 8.25 μm とした。クラッド領域 2 0 における高屈折率領域の層数を 9 とした。また、ファイバ長を 1 m とした。これらの図から判るように、水平偏波および垂直偏波の何れの場合にも 1550 nm 帯において狭帯域のバンドパス特性が得られるが、水平偏波と垂直偏波とで若干の差が生じることがわかる。

【0037】

図 13 は、第 2 実施形態に係る P B G F 2 (図 6) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。同図 (a) は

P B G F 2 の閉じ込め損失の波長依存性を示し、同図 (b) は P B G F 2 の透過率の波長依存性を示す。図 1 4 は、これと同じ場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。同図 (a) は波長 1 5 3 0 n m の場合の光強度分布を示し、同図 (b) は波長 1 5 5 0 n m の場合の光強度分布を示し、同図 (c) は波長 1 5 7 0 n m の場合の光強度分布を示す。ここで、高屈折率領域 2 1 A , 2 1 B の純シリカに対する比屈折率差の最大値を 2 . 6 4 % とし、低屈折率背景領域 2 2 の純シリカに対する比屈折率差を - 0 . 7 6 % とした。透過帯域の中心波長を 1 5 5 0 n m 付近に設定するために、周期 Λ を 8 . 2 μ m とした。クラッド領域 2 0 における高屈折率領域の層数を 1 0 とした。また、ファイバ長を 5 0 c m とした。これらの図から判るように、水平偏波および垂直偏波の何れの場合にも 1 5 5 0 n m 帯において狭帯域のバンドパス特性が得られた。

10

【 0 0 3 8 】

次に、第 1 実施形態に係る P B G F 1 において、クラッド領域 2 0 における高屈折率領域の層数を各値とした場合の、閉じ込め損失の波長依存性を計算により求めた結果を示す。ここでは、高屈折率領域 2 1 A , 2 1 B それぞれがグレーデッド型の屈折率分布を有する場合について計算を行った。

【 0 0 3 9 】

図 1 5 および図 1 6 それぞれは、第 1 実施形態に係る P B G F 1 (図 5) において高屈折率領域 2 1 A , 2 1 B がグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の閉じ込め損失の波長依存性を示す図である。クラッド領域 2 0 における高屈折率領域の層数を 7 , 8 および 9 それぞれとした。

20

【 0 0 4 0 】

図 1 5 では、高屈折率領域 2 1 A の比 (d / Λ) を 0 . 6 5 とし、高屈折率領域 2 1 B の比 (d / Λ) を 0 . 7 6 とし、周期 Λ を 8 . 3 7 μ m とした。図 1 6 では、高屈折率領域 2 1 A の比 (d / Λ) を 0 . 6 5 とし、高屈折率領域 2 1 B の比 (d / Λ) を 0 . 7 7 とし、周期 Λ を 8 . 3 3 μ m とした。

【 0 0 4 1 】

図 1 5 および図 1 6 の何れにおいても、層数が少ないほど、閉じ込め損失が大きく、透過帯域の帯域幅が狭い。層数を 7 とした場合、図 1 5 では中心波長での閉じ込め損失は 2 d B / m 程度であり、図 1 6 では中心波長での閉じ込め損失は 0 . 5 / m 程度である。閉じ込め損失と透過帯域の帯域幅との間にはトレードオフの関係にあり、透過帯域の帯域幅を広げると閉じ込め損失を下げることができる。

30

【 0 0 4 2 】

次に、本実施形態に係る光ファイバ (P B G F) を光フィルタとして用いる応用例について説明する。以下に説明する応用例は、Y b 元素添加光ファイバにより波長 1 μ m 帯の信号光を光増幅する光増幅器において、A S E (amplified spontaneous emission) 光を本実施形態に係る P B G F により抑圧するものである。

【 0 0 4 3 】

Y b 元素添加光ファイバにより波長 1 0 6 4 n m の信号光を光増幅する場合、波長 9 8 0 n m または波長 9 1 0 n m の励起光が Y b 元素添加光ファイバに供給される。ただし、波長 9 1 0 n m の励起光が供給される場合の方が利得は高い。このような光増幅器において光フィルタとして用いられる本実施形態に係る P B G F は、励起光波長 9 1 0 n m が狭帯域の透過帯域内に存在し、信号光波長 1 0 6 4 n m が他の狭帯域の透過帯域内に存在し、また、励起光波長 9 1 0 n m と信号光波長 1 0 6 4 n m との間の波長域が遮断帯域となるように、クラッド領域 2 0 における二次元周期構造が設計される。

40

【 0 0 4 4 】

本実施形態に係る P B G F は、コア径が大きいにもかかわらず、フォトリックバンドギャップの底が浅いので、波長 1 0 6 4 n m の信号光を実効的に単一モードで伝送することができ、かつ、励起光波長と信号光波長との間の A S E 光を除去することができる。

【 0 0 4 5 】

図 1 7 は、第 1 実施形態に係る P B G F 1 (図 5) において透過帯域が波長 1 0 6 4 n

50

mを含むように設計した場合の閉じ込め損失の波長依存性を示す図である。高屈折率領域 2 1 A の比 (d/Λ) を 0.65 とし、高屈折率領域 2 1 B の比 (d/Λ) を 0.76 とし、周期 Λ を $5.73\ \mu\text{m}$ とした。また、高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B それぞれの屈折率分布はグレーデッド型で、それぞれの純シリカに対する比屈折率差はそれぞれ 2.64%、-0.76% とした。層数を 9 または 10 とした。この図 17 に示されるような特性を有する本実施形態に係る PBGF が光フィルタとして用いられることにより、励起光波長 $910\ \text{nm}$ と信号光波長 $1064\ \text{nm}$ との間の波長の ASE 光が効果的に抑圧され得る。

【0046】

以上までに説明した本実施形態に係る PBGF では、コア領域 10 は、三角格子状の二次元周期構造の周期構造のうちの或る 1 つの格子点と、この格子点の周囲にある直近の 6 つの格子点とにおいて、高屈折率領域が取り除かれることで形成されたものであった（以下これを「7セル型」と呼ぶ。）。また、コア領域 10 は、三角格子状の二次元周期構造の周期構造のうちの或る 1 つの格子点において高屈折率領域が取り除かれることで形成されたものであってもよい（以下これを「1セル型」と呼ぶ。）。 10

【0047】

コア領域 10 を 1 セル型とした場合、バンドエッジのロスの立ち上がりが緩やかとなり、急峻な帯域通過フィルタまたは帯域阻止フィルタを構成することが難しい。これに対して、コア領域 10 を 7 セル型とした場合、急峻な帯域通過フィルタまたは帯域阻止フィルタを構成することが容易である。したがって、コア領域 10 を 7 セル型とするのが好ましい。 20

【0048】

また、以上までに説明した本実施形態ではクラッド領域 20 において 2 種類の周期構造が存在する場合について説明したが、一般にクラッド領域 20 において 2 種類以上の周期構造が存在する場合についても同様である。また、以上までに説明した本実施形態では 2 種類の周期構造の間で比 (d/Λ) が互いに異なる場合について説明したが、2 種類の周期構造の間で高屈折率領域の屈折率が互いに異なる場合についても同様である。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図 1】フォトリソバンドギャップファイバ (PBGF) 9 の断面図である。

【図 2】スタックアンドドロウ法による PBGF 9 の製造方法の一例を説明する図である。 30

【図 3】PBGF 9 の損失スペクトルの一例を示す図である。

【図 4】PBGF のフォトリソバンドダイアグラムを示す図である。

【図 5】第 1 実施形態に係る光ファイバ (PBGF) 1 の断面図である。

【図 6】第 2 実施形態に係る光ファイバ (PBGF) 2 の断面図である。

【図 7】第 1 実施形態に係る PBGF 1 (図 5) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がステップ型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。

【図 8】第 1 実施形態に係る PBGF 1 (図 5) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がステップ型の屈折率分布を有する場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。 40

【図 9】第 2 実施形態に係る PBGF 2 (図 6) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がステップ型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。

【図 10】第 2 実施形態に係る PBGF 2 (図 6) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がステップ型の屈折率分布を有する場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。

【図 11】第 1 実施形態に係る PBGF 1 (図 5) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。

【図 12】第 1 実施形態に係る PBGF 1 (図 5) において高屈折率領域 2 1 A, 2 1 B がグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。 50

【図１３】第２実施形態に係るＰＢＧＦ２（図６）において高屈折率領域２１Ａ，２１Ｂがグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の光学特性を示す図である。

【図１４】第２実施形態に係るＰＢＧＦ２（図６）において高屈折率領域２１Ａ，２１Ｂがグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の断面における各波長での光強度分布を示す図である。

【図１５】第１実施形態に係るＰＢＧＦ１（図５）において高屈折率領域２１Ａ，２１Ｂがグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の閉じ込め損失の波長依存性を示す図である。

【図１６】第１実施形態に係るＰＢＧＦ１（図５）において高屈折率領域２１Ａ，２１Ｂがグレーデッド型の屈折率分布を有する場合の閉じ込め損失の波長依存性を示す図である。

10

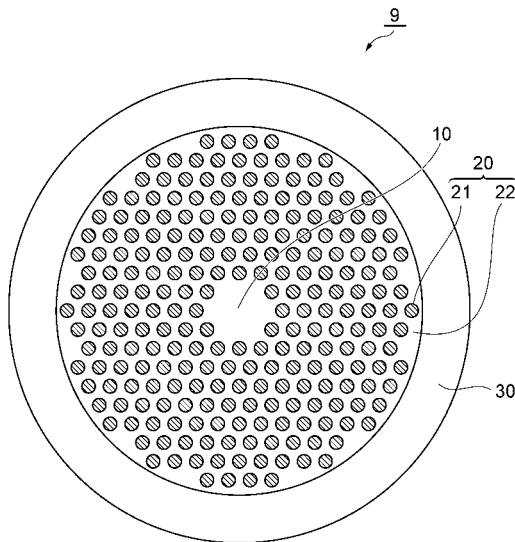
【図１７】第１実施形態に係るＰＢＧＦ１（図５）において透過帯域が波長１０６４ｎｍを含むように設計した場合の閉じ込め損失の波長依存性を示す図である。

【符号の説明】

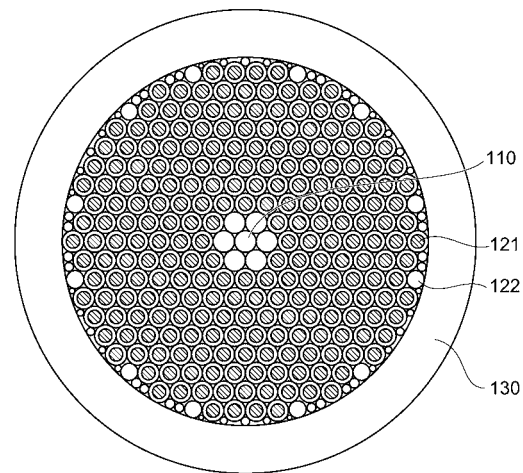
【００５０】

１，２，９…光ファイバ（ＰＢＧＦ）、１０…コア領域、２０…クラッド領域、２１，２１Ａ，２１Ｂ…高屈折率領域、２２…低屈折率背景領域、３０…ジャケット領域。

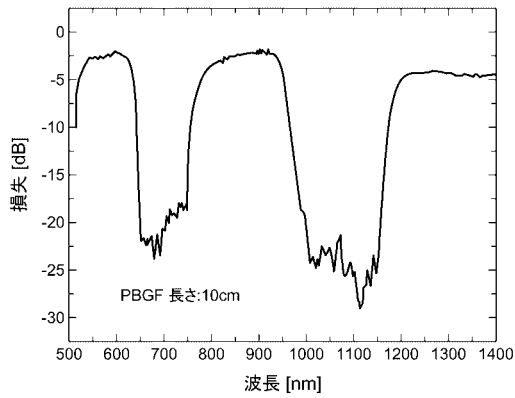
【図１】



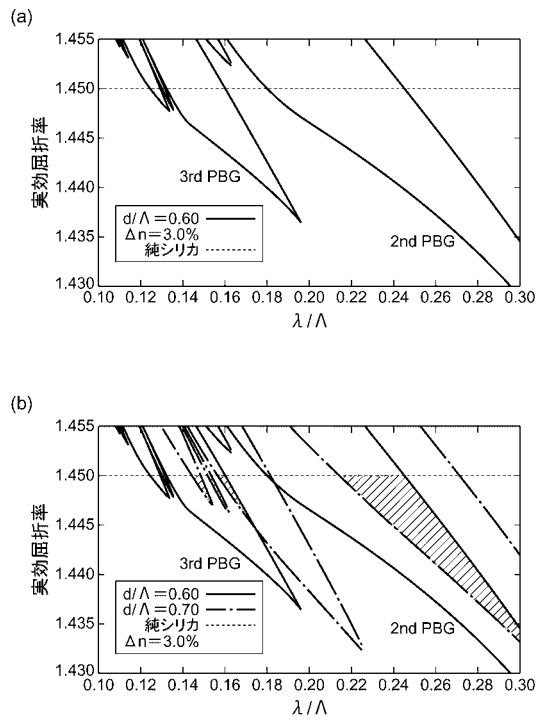
【図２】



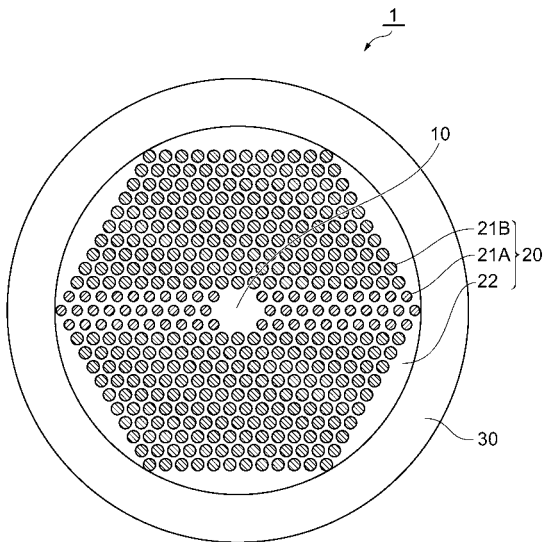
【図 3】



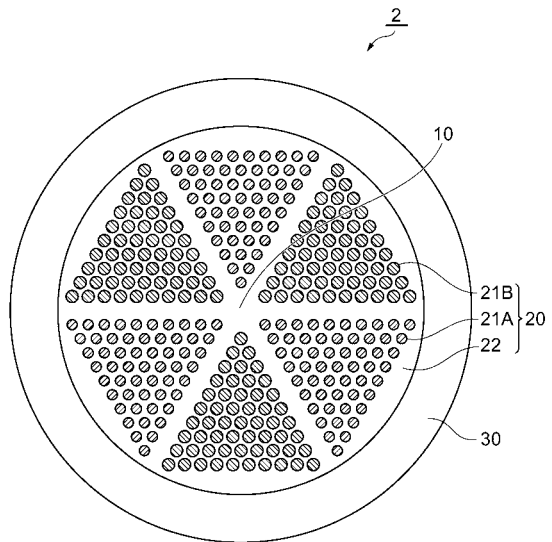
【図 4】



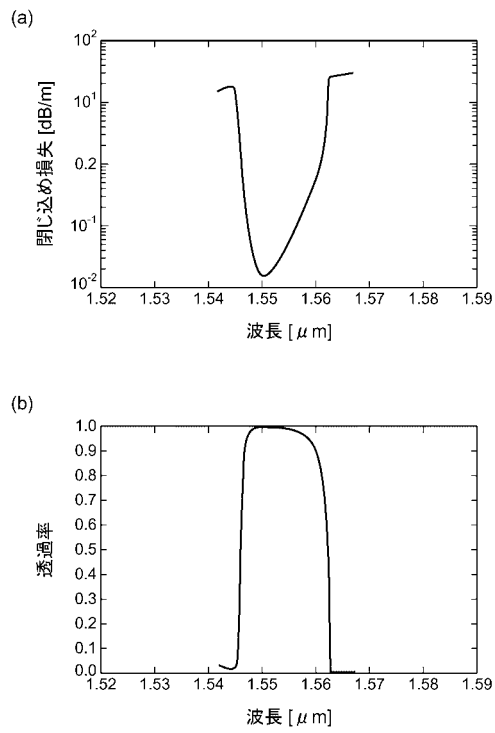
【図 5】



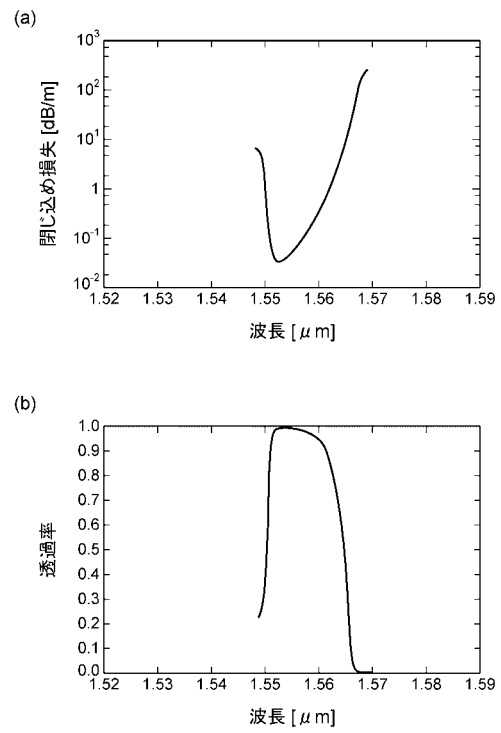
【図 6】



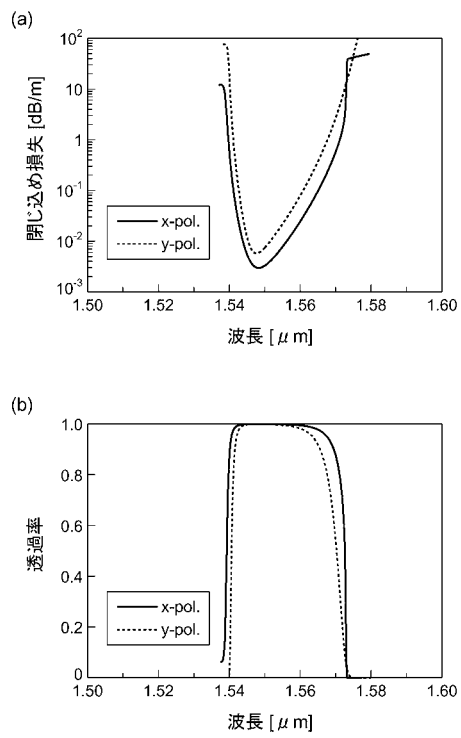
【図 7】



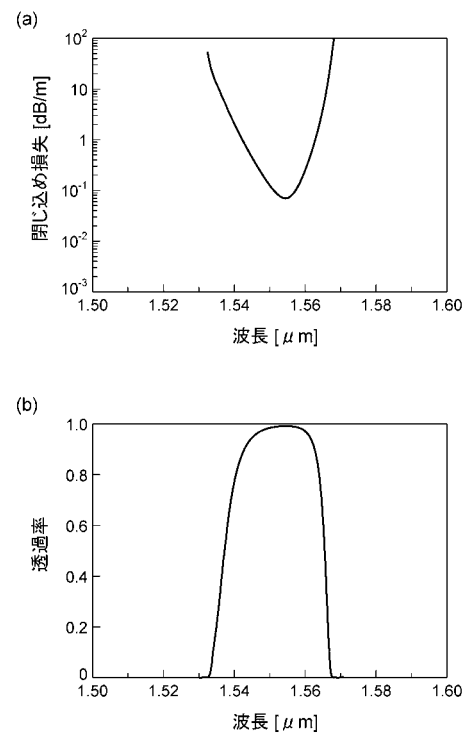
【図 9】



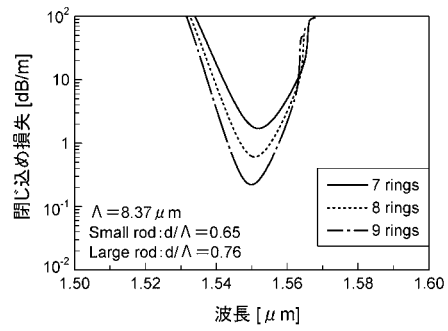
【図 11】



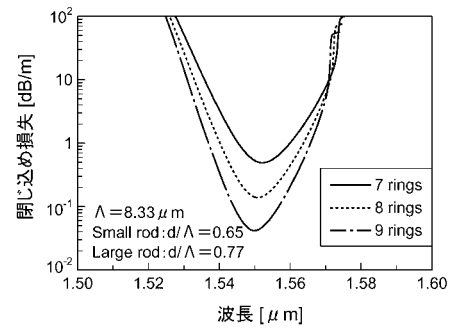
【図 13】



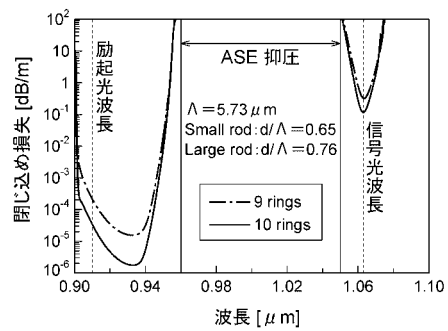
【図 15】



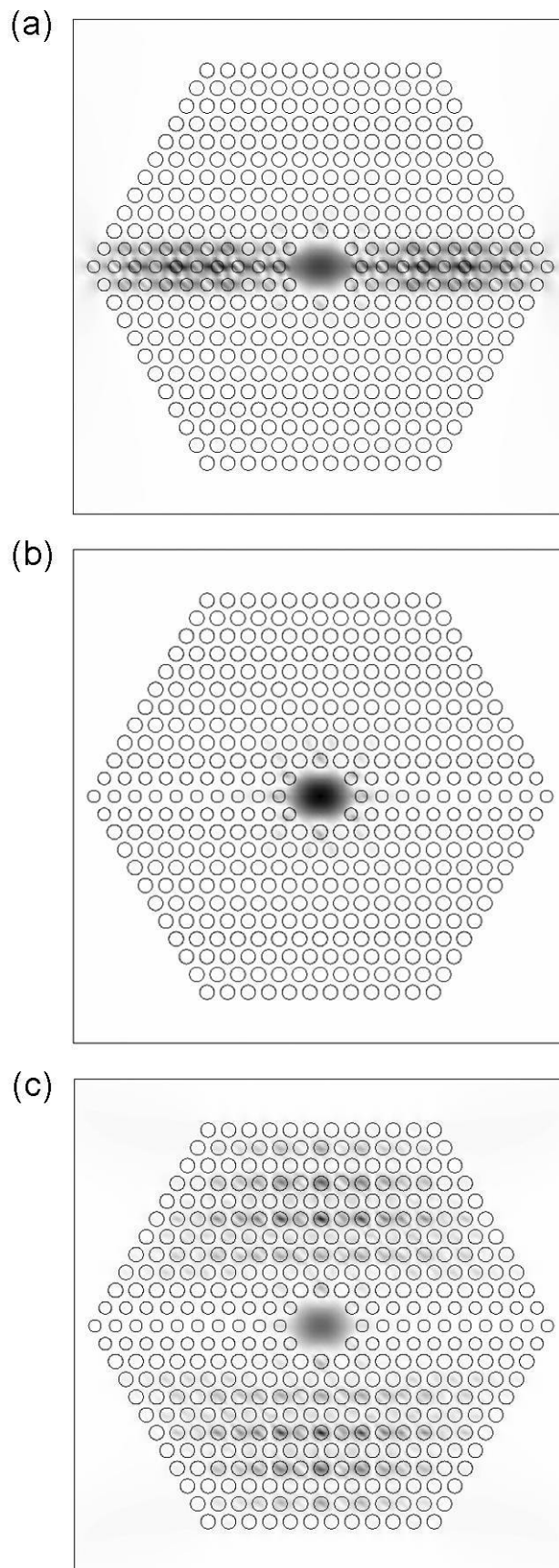
【図 16】



【図 17】

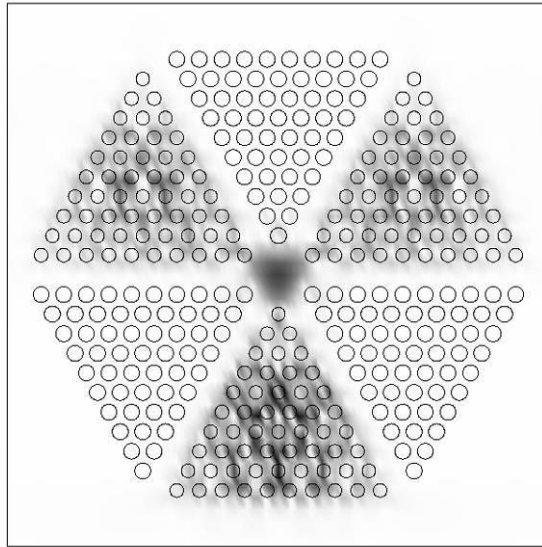


【 図 8 】

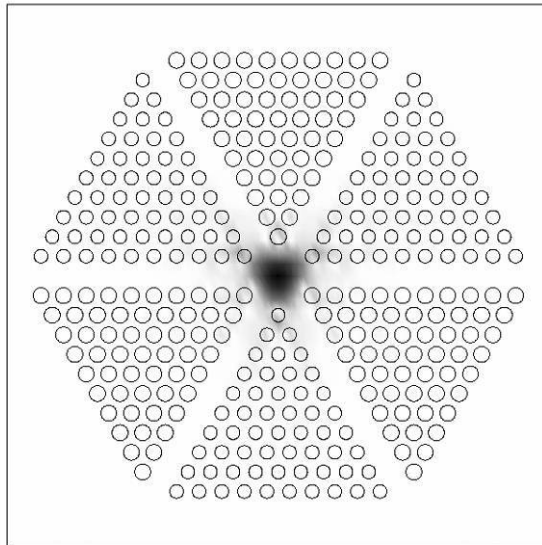


【図 10】

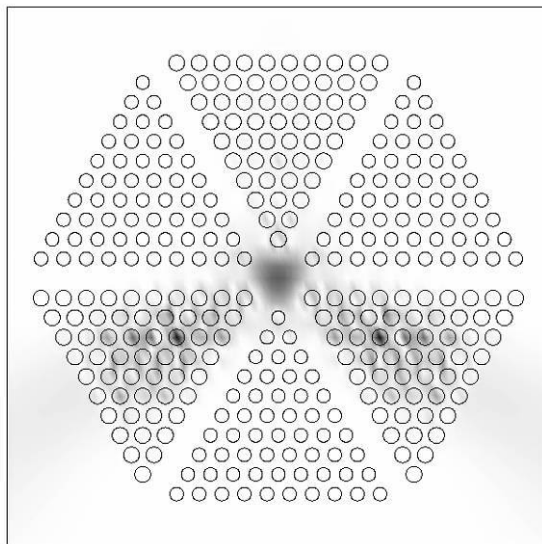
(a)



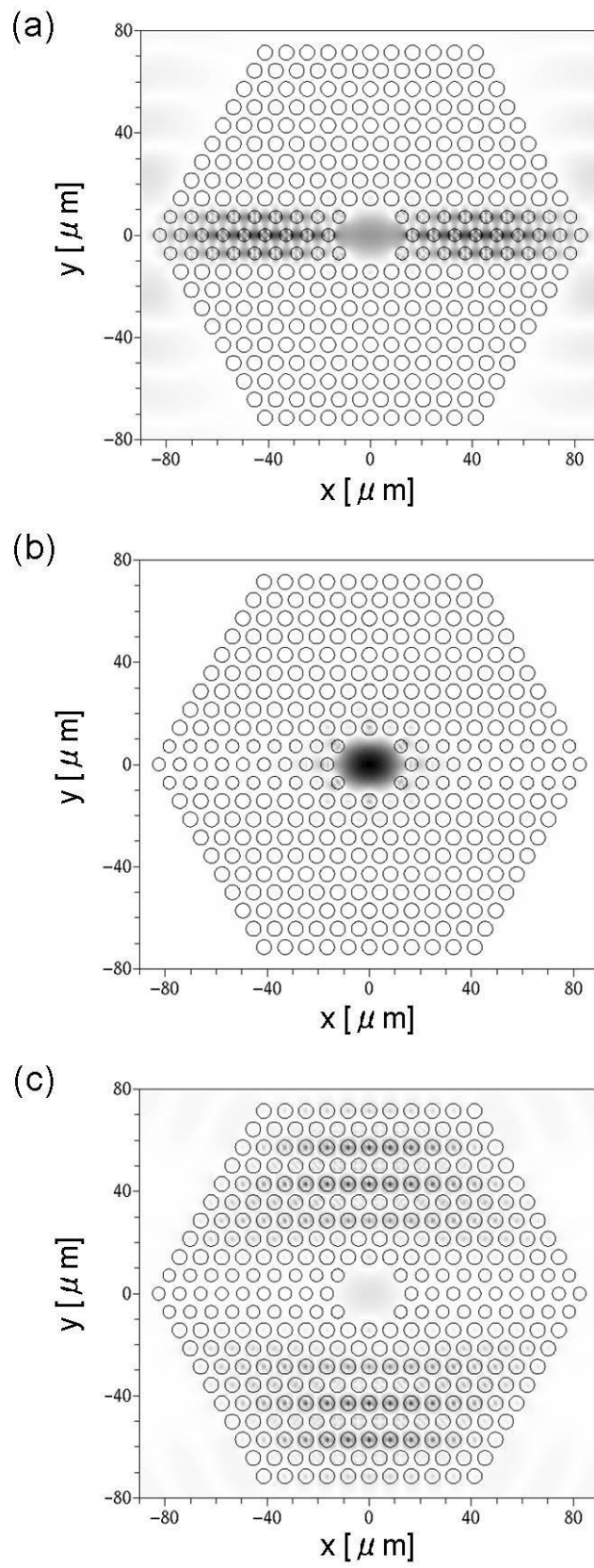
(b)



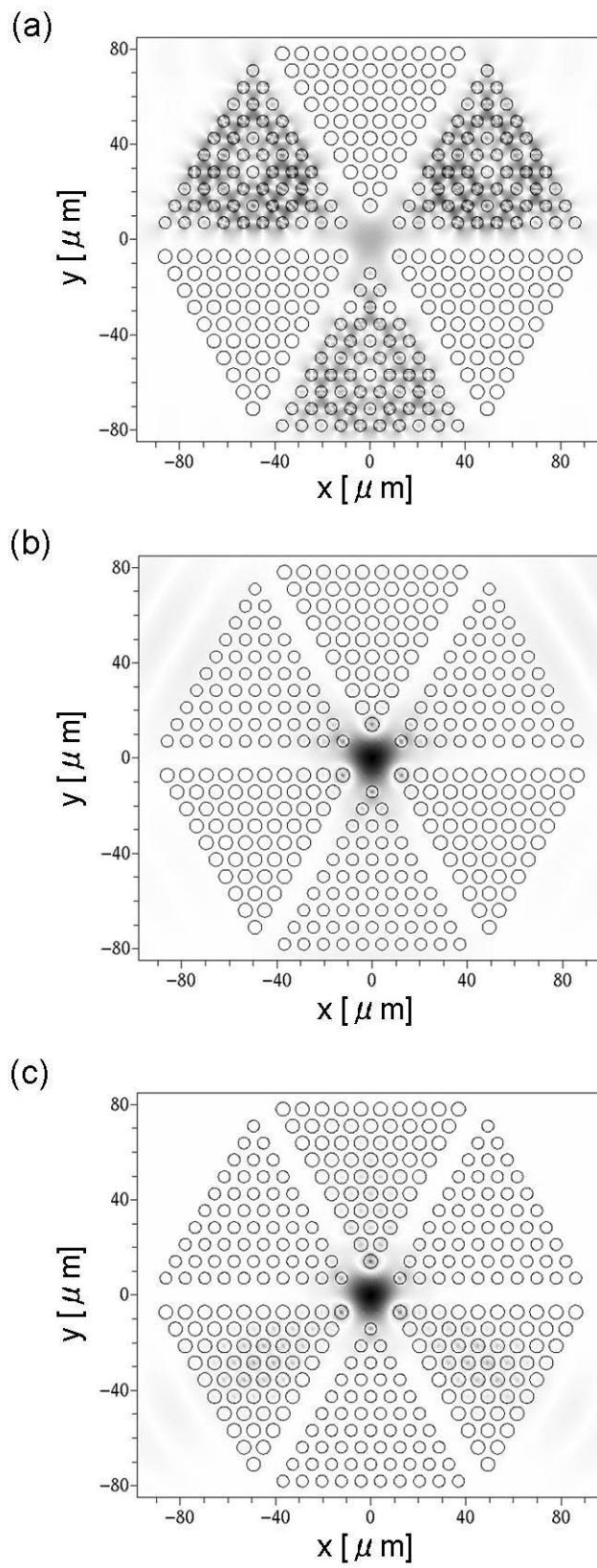
(c)



【図 12】



【図 14】



フロントページの続き

(74)代理人 100110582

弁理士 柴田 昌聰

(72)発明者 樽 稔樹

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 永島 拓志

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 佐々木 隆

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 齊藤 晋聖

北海道札幌市北区北 1 4 条西 9 丁目 国立大学法人北海道大学 大学院情報科学研究科内

F ターム(参考) 2H150 AB04 AB05 AB06 AB07 AB09 AB10 AF04 AF11 AF22 AF37

AF46 AF56 AH11