

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4357438号
(P4357438)

(45) 発行日 平成21年11月4日(2009.11.4)

(24) 登録日 平成21年8月14日(2009.8.14)

(51) Int.Cl.

F I

G O 2 F 1/025 (2006.01)

G O 2 F 1/025

請求項の数 8 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2005-64497 (P2005-64497)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成17年3月8日(2005.3.8)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2006-251087 (P2006-251087A)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(43) 公開日	平成18年9月21日(2006.9.21)	(74) 代理人	100077481
審査請求日	平成19年2月21日(2007.2.21)		弁理士 谷 義一
		(74) 代理人	100088915
			弁理士 阿部 和夫
		(72) 発明者	都築 健
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	菊池 順裕
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体光変調器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体光導波層と、n型半導体クラッド層とを備えた導波路を有する半導体光変調器において、

前記半導体光導波層と前記n型半導体クラッド層との間にあって、無電界状態で前記n型半導体クラッド層から前記半導体光導波層への多数キャリアの拡散を防ぐポテンシャル障壁となる中間層を備えたことを特徴とする半導体光変調器。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体光変調器において、

前記半導体光導波層は、ノンドープ InGaAsP 層またはノンドープ InGaAlAs 層からなり、

前記n型半導体クラッド層は、n-InP 層からなることを特徴とする半導体光変調器。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の半導体光変調器において、

前記中間層は、InAlAsを含むことを特徴とする半導体光変調器。

【請求項 4】

電気光学効果を有する半導体光導波層と、該半導体光導波層の上下を挟む第 1 のクラッド層と、該第 1 のクラッド層の上下を挟む第 2 のクラッド層を備えた半導体ヘテロ構造の導波路を有する半導体光変調器において、

10

20

前記第2のクラッド層の少なくとも一方は、n型半導体層で構成され、

前記n型半導体層に接する前記第1のクラッド層は、無電界状態で前記第2のクラッド層から前記半導体光導波層への多数キャリアの拡散を防ぐポテンシャル障壁となることを特徴とする半導体光変調器。

【請求項5】

請求項4に記載の半導体光変調器において、

前記第2のクラッド層は、ともにn型半導体層で構成されたことを特徴とする半導体光変調器。

【請求項6】

請求項5に記載の半導体変調器において、

前記半導体光導波層は、ノンドープInGaAsP層またはノンドープInGaAlAs層からなり、

前記第2のクラッド層は、n-InP層からなることを特徴とする半導体光変調器。

【請求項7】

請求項6に記載の半導体光変調器において、

前記第1のクラッド層は、InAlAsを含むことを特徴とする半導体光変調器。

【請求項8】

請求項1ないし7のいずれかに記載の半導体光変調器であって、

マッハツェンダ干渉計により構成されたことを特徴とする半導体光変調器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体光変調器に関し、より詳しくは、低電圧動作が可能で導波路損失の小さい位相変調器およびマッハツェンダ変調器に関する。

【背景技術】

【0002】

光変調器などの導波路型光制御デバイスは、高速光通信システム、光情報処理システムのキーエレメントの1つである。光変調器としては、LiNbO₃ (LN) 等の誘電体を用いたものや、InPやGaAsの半導体を用いたものが用いられている。LiNbO₃ 変調器は、現在、広く使用されているが、印加電圧による屈折率の変化が小さいため、3 ~ 5 V 程度の高い駆動電圧が必要とされる。また、DCドリフトや温度ドリフトによって駆動条件が変化してしまうため、駆動条件の制御機構が必要となる。

【0003】

半導体を材料とする光変調器の代表的なものとしては、バルク半導体のフランツケルディッシュ (Franz-Keldysh) 効果や多重量子井戸構造における量子閉じ込めシュタルク効果 (QCSE: Quantum Confined Stark Effect) のように電界を印加することにより吸収端が長波長側へシフトする効果を利用した電界吸収型光変調器 (EA変調器) と、電界を印加することにより屈折率が変化する電気光学効果 (ポッケルス効果) を利用した電気光学変調器 (EO変調器) がある。

【0004】

電界吸収型光変調器は、消費電力が小さく、小型であり、LiNbO₃ 変調器に見られるような直流電圧によるドリフトが生じないという利点がある。しかし、電界吸収型光変調器では変調時に波長チャージングが生じ、これによるファイバ伝送後の波形劣化が問題となる。つまり波長チャージングにより、変調後の光信号スペクトルは変調前に比べて広がることになる。この光信号を光ファイバで伝送すると、ファイバ媒質の分散の効果による波形劣化が起こり、伝送特性に好ましくない影響を及ぼす。この現象はビットレートが高いほど、また伝送距離が長いほど顕著になる。

【0005】

一方、電気光学変調器としては、屈折率を変化させることにより光の位相を変調させる位相変調器と、位相変調器を組み合わせマッハツェンダ干渉計を構成するマッハツェン

10

20

30

40

50

ダ変調器が用いられている。現在の光通信は、光強度の強弱で信号を送るため、強度変調器としてのマッハツェンダ変調器が主に用いられるが、この光変調器では原理的にチャージングを零にすることができ、超高速・長距離通信用の変調器として期待されている。半導体のマッハツェンダ変調器の例としては、第1にp-i-n構造を有した集中定数型の変調器が挙げられる（非特許文献1）。さらにショットキー電極による進行波電極型の変調器なども盛んに研究されている（非特許文献2）。また、これらの半導体マッハツェンダ変調器よりさらに低電圧化、小型化、高速化を目指したn-i-n構造半導体マッハツェンダ変調器も検討されている。

【0006】

【特許文献1】国際公開第2004/081638号パンフレット

10

【非特許文献1】C. Rolland et al., "10Gbit/s, 1.56 μ m multiquantum well InP/InGaAsP Mach-Zehnder optical modulator," Electronics Letters, March 1993, vol.29, no.5, pp.471-472.

【非特許文献2】R. Spickermann et al., "GaAs/AlGaAs electro-optic modulator with bandwidth >40GHz," Electronics Letters, May 1995, vol.31, no.11, pp.915-916.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、従来の半導体電気光学変調器であるp-i-n構造、またはn-i-n構造の光変調器は、印加電圧が小さい時には変調効率が悪いため、高いバイアス電圧を印加する必要があった。このため、電源の複雑化、消費電力の増大などの問題がある。

20

【0008】

従来のp-i-n構造変調器を構成する導波路のバンドダイアグラムを図6に示す。図6(a)の電界が印加されていない状態では、n型半導体層10の電子1、p型半導体層30の正孔3が光導波層であるノンドープ層20へ拡散している。このため、空乏層2の厚さがノンドープ層20の厚さより薄くなっている。この状態から電圧を印加していくと、先ずノンドープ層20内の電子1および正孔3がそれぞれn型半導体層10、p型半導体層30へ戻され、空乏層2が拡げられる。この状態を図6(b)に示している。

【0009】

このとき印加される電圧は、空乏領域2を拡げることに消費され、空乏層2内の電界を増加させる効果は小さい。このため、空乏領域が拡がりきるまで、電気光学効果は小さくなる。空乏層厚がノンドープ層厚と同一となると（図6(b））、印加電圧は光導波層内の電界を増加させ、効率的に電気光学効果による光変調を引き起こすことが可能となる。このことは、n-i-n構造変調器においても電子のノンドープ層への拡散が起こるため同様である。

30

【0010】

従来のp-i-n構造またはn-i-n構造のマッハツェンダ変調器の一般的な消光特性を図7に示す。印加電圧が低い領域（例えば、<2V）では電気光学効果が小さく、この領域では光の変調がほとんど起きていないことがわかる。このため、変調器駆動時には高いバイアス電圧を印加する必要があり、電圧の昇圧回路などが必要とされてきた。

40

【0011】

また、空乏層の拡がりによって光導波路上に形成した高周波電界印加線路の特性が変化するため、印加電圧が低い領域（例えば、<2V）と高い領域（例えば、>2V）で高速動作時の特性が変化するという問題があった。

【0012】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、低電圧動作が可能な半導体光変調器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、このような目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、半導体光導波

50

層と、n型半導体クラッド層とを備えた導波路を有する半導体光変調器において、前記半導体光導波層と前記n型半導体クラッド層との間であって、無電界状態で前記n型半導体クラッド層から前記半導体光導波層への多数キャリアの拡散を防ぐポテンシャル障壁となる中間層を備えたことを特徴とする。

【0014】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の半導体光変調器において、前記半導体光導波層は、ノンドープInGaAsP層またはノンドープInGaAlAs層からなり、前記n型半導体クラッド層は、n-InP層からなることを特徴とする。

【0015】

また、請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の半導体光変調器において、前記中間層は、InAlAsを含むことを特徴とする。

10

【0018】

また、請求項4に記載の発明は、電気光学効果を有する半導体光導波層と、該半導体光導波層の上下を挟む第1のクラッド層（中間層）と、該第1のクラッド層の上下を挟む第2のクラッド層を備えた半導体ヘテロ構造の光導波路を有する半導体光変調器において、前記第2のクラッド層の少なくとも一方は、n型半導体層で構成され、前記n型半導体層に接する前記第1のクラッド層は、無電界状態で前記第2のクラッド層から前記半導体光導波層への多数キャリアの拡散を防ぐポテンシャル障壁となることを特徴とする。

【0019】

また、請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の半導体光変調器において、前記第2のクラッド層は、ともにn型半導体層で構成されたことを特徴とする。

20

【0020】

また、請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の半導体変調器において、前記半導体光導波層は、ノンドープInGaAsP層またはノンドープInGaAlAs層からなり、前記第2のクラッド層は、n-InP層からなることを特徴とする。

【0021】

また、請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の半導体光変調器において、前記第1のクラッド層は、InAlAsを含むことを特徴とする。

【0023】

また、請求項8に記載の発明は、請求項1ないし7のいずれかに記載の半導体光変調器であって、マッハツェンダ干渉計により構成されたことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、導波路の光導波層に接する第1のクラッド層（中間層）の伝導帯（または価電子帯エネルギー準位）が、n型半導体（またはp型半導体）からなる第2のクラッド層内の電子（または正孔）が光導波層へ拡散することを防止する障壁層として機能する。その結果、電界を印加しない状態でも光導波層は空乏化しており、低いバイアス電圧でも電気光学効果による高効率な光変調が可能となる。これにより、低電圧動作かつ高速動作が可能で導波路損失の小さい半導体光変調器を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0025】

従来の半導体変調器では、電圧を印加しない状態では、n型半導体層中の電子が光導波層であるノンドープ層に拡散し、空乏層厚が減少していた（図6）。あるいは、p型半導体中の正孔が光導波層であるノンドープ層に拡散し、空乏層が減少していた（図6）。このため、電圧を印加してから、光導波層であるノンドープ層が空乏化するまで電気光学効果による屈折率の変換効率が悪い。

【0026】

本発明による半導体変調器では、光導波層とn型半導体層との間に中間層を設け、伝導帯エネルギー準位がn型半導体層よりも高くなるように構成する。あるいは、本発明による半導体変調器では、光導波層とp型半導体層との間に中間層を設け、価電子帯エネルギ

50

ー準位がp型半導体層よりも低くなるように構成する。すなわち、p型半導体中の正孔に対するエネルギーが高くなるように構成する。これにより、光導波層であるノンドープ層への電子または正孔の拡散が防止される。そのため、光導波層であるノンドープ層は、電圧を印加しない状態でも空乏化されており、低いバイアス電圧でも電気光学効果による高効率な光変調を行うことができるようになる。以下、図面を参照しながら本発明のいくつかの実施例について具体的に説明する。

【実施例1】

【0027】

図1は、本発明の実施例1による半導体光変調器の導波路の無電界状態でのバンドダイアグラムである。この半導体光変調器の導波路は、n-InP層からなるn型半導体クラッド層10と、ノンドープInGaAsP層、あるいはノンドープInGaAlAs層からなる光導波層20と、p-InP層からなるp型半導体クラッド層30と、ノンドープInAlAs層からなる中間層40とを備え、全体としてp-i-n構造を構成している。ここで、中間層40は、n型半導体クラッド層10と光導波層20との間に設けられている。

10

【0028】

中間層40としてのノンドープInAlAs層の伝導帯エネルギーは、図に示すように、n型半導体クラッド層10としてのn-InP層の伝導帯エネルギーよりも高くなっている。そのため、ノンドープInAlAs層は、電子1のポテンシャル障壁として作用し、無電界状態でノンドープ層である光導波層20への電子1の拡散を防止している。これにより、無電界状態で光導波層の空乏領域2が拡大され、低い印加電圧でも電界が光導波層20へ効果的に印加されるので、電気光学効果による光変調が効率的に行われるようになる。なお、中間層がノンドープ層であるためこの領域でも電気光学効果が作用する。

20

【実施例2】

【0029】

図2は、本発明の実施例2による半導体光変調器の導波路の無電界状態でのバンドダイアグラムである。この半導体光変調器の導波路は、n-InAlAs層からなるn型半導体クラッド層10と、ノンドープInGaAlAs層からなる光導波層20と、p-InAlAs層からなるp型半導体クラッド層30と、ノンドープInGaAsP層からなる中間層50とを備え、全体としてp-i-n構造を構成している。ここで、中間層50は、p型半導体クラッド層30と光導波層20との間に設けられている。

30

【0030】

中間層50としてのノンドープInGaAsP層の価電子帯エネルギーは、図に示すように、p型半導体クラッド層30としてのp-InAlAs層の価電子帯エネルギーよりも低くなっている。そのため、ノンドープInGaAsP層は、正孔3のポテンシャル障壁として作用し、無電界状態でノンドープ層である光導波層20への正孔3の拡散を防止している。これにより、無電界状態で光導波層の空乏領域2が拡大され、低い印加電圧でも電界が光導波層20へ効果的に印加されるので、電気光学効果による光変調が効率的に行われるようになる。なお、中間層がノンドープ層であるためこの領域でも電気光学効果が作用する。

40

【実施例3】

【0031】

図3は、本発明の実施例3による半導体光変調器の導波路の無電界状態でのバンドダイアグラムである。この半導体光変調器の導波路は、n-InP層からなるn型半導体クラッド層10aおよび10bと、ノンドープInGaAsP層、あるいはノンドープInGaAlAs層からなる光導波層20と、ノンドープInAlAs層からなる中間層40aと、p-InAlAs層からなる中間層40bとを備え、全体としてn-i-n構造を構成している。ここで、中間層40aは、n型半導体クラッド層10aと光導波層20との間に設けられ、中間層40bは、n型半導体クラッド層10bと光導波層20との間に設けられている。

50

【0032】

中間層40aとしてのノンドープInAlAs層の伝導帯エネルギーは、図に示すように、n型半導体クラッド層10aとしてのn-InP層の伝導帯エネルギーよりも高くなっている。そのため、ノンドープInAlAs層は、電子1のポテンシャル障壁として作用し、無電界状態でノンドープ層である光導波層20への電子1の拡散を防止している。

【0033】

また、中間層40bとしてのp-InAlAs層の伝導帯エネルギーは、図に示すように、n型半導体クラッド層10bとしてのn-InP層の伝導帯エネルギーよりも高くなっている。そのため、p-InAlAs層は、電子1のポテンシャル障壁として作用し、無電界状態でノンドープ層である光導波層20への電子1の拡散を防止している。

10

【0034】

このように、中間層40aおよび40bにより、無電界状態での光導波層の空乏領域2が拡大され、低い印加電圧でも電界が光導波層20へ効果的に印加されるので、電気光学効果による光変調が効率的に行われるようになる。

【実施例4】

【0035】

図4は、本発明による半導体変調器の一例であるマッハツェンダ変調器の概観図である。図4では、半導体ヘテロ構造の導波路に上記の実施例の導波路を用いて、マッハツェンダ干渉計を構成している。半導体変調器100は、光信号を入力する入力導波路110と、光信号を2分岐する光分岐器120aと、分岐した光信号の位相を調整する位相変調導波路130と、光信号を合波する光合波器120bと、光信号を出力する出力光導波路140とを備えている。また、変調器100は、位相変調導波路130上に配設され、光信号の位相を調整する電気信号を供給する高周波電界印加線路150aおよび150bを備えている。なお、図4に示す半導体変調器では、高速で光変調を行えるように、電極には高周波電界を印加するためのコプレーナ導波路構造が採用されている。

20

【0036】

入力光導波路110から入力された光信号は、光分岐器120aにより2分岐され、位相変調導波路130のそれぞれの導波路に入力される。位相変調導波路130を伝播する光信号は、高周波電界印加線路150aおよび/または150bに供給する電気信号により位相変調される。位相変調された光信号は、光合波器120bにより合波され、位相変調に応じて強度変調された光信号が出力導波路140から出力される。

30

【0037】

本発明による導波路を位相変調導波路130に用いることにより、高周波電界印加線路150a、150bへのバイアス電圧が低くても電気光学効果による光変調を効率的に行うことができる。これにより、従来必要であった電圧の昇圧回路などがなくなり、光変調装置の簡易化および低消費電力化が可能になる。

【0038】

図5に、本発明によるマッハツェンダ変調器の消光特性の一例を示す。図7と比較すると、印加電圧が低い領域でも電気光学効果による光変調を効率的に行うことができることがわかる。これにより、バイアス電圧が低くても変調器の駆動が可能であり、従来必要であった電圧の昇圧回路などがなくなり、光変調装置の簡易化および低消費電力化が可能になる。

40

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】本発明の一実施例による半導体変調器の導波路の無電界状態でのバンドダイアグラムを示す図である。

【図2】本発明の一実施例による半導体変調器の導波路の無電界状態でのバンドダイアグラムを示す図である。

【図3】本発明の一実施例による半導体変調器の導波路の無電界状態でのバンドダイアグラムを示す図である。

50

【図4】本発明の一実施例による半導体変調器の一例であるマッハツェンダ変調器を示す概観図である。

【図5】本発明によるマッハツェンダ変調器の消光特性の一例を示す図である。

【図6】従来の半導体変調器の導波路のバンドダイアグラムを示す図であり、図6(a)は、無電界状態でのバンドダイアグラムを示し、図6(b)は、電界印加状態でのバンドダイアグラムを示している。

【図7】従来のマッハツェンダ変調器の消光特性を示す図である。

【符号の説明】

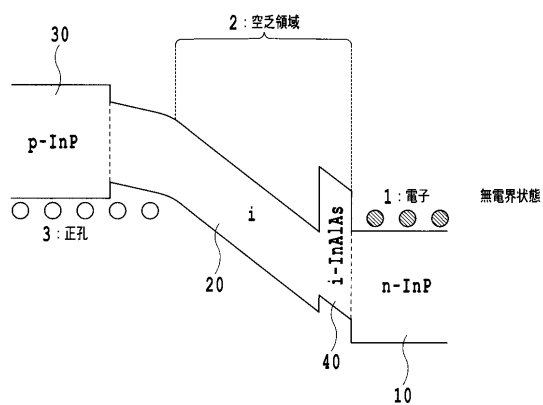
【0040】

- 1 電子
- 2 空乏領域
- 3 正孔
- 10、10a、10b n型半導体クラッド層
- 20 ノンドープ層／光導波層
- 30 p型半導体クラッド層
- 40、40a、40b、50 中間層
- 100 半導体変調器
- 110 入力導波路
- 120a 光分岐器
- 120b 光合波器
- 130 位相変調導波路
- 140 出力光導波路
- 150a、150b 高周波電界印加線路

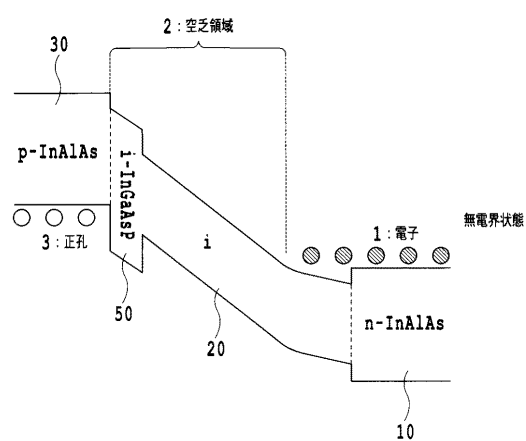
10

20

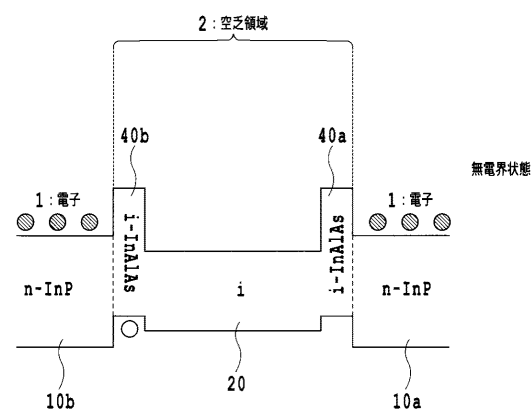
【図1】



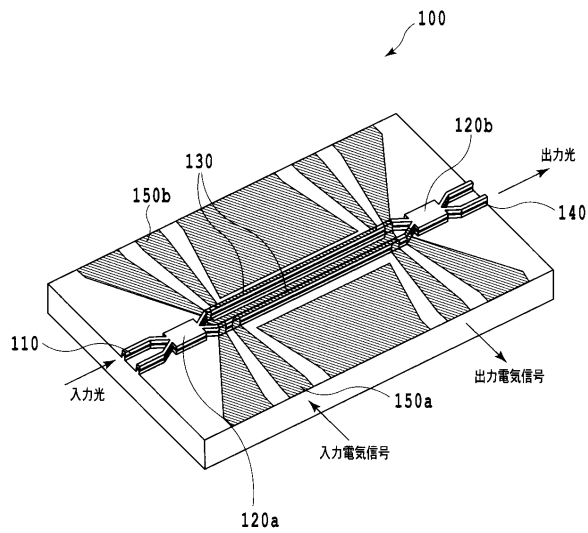
【図2】



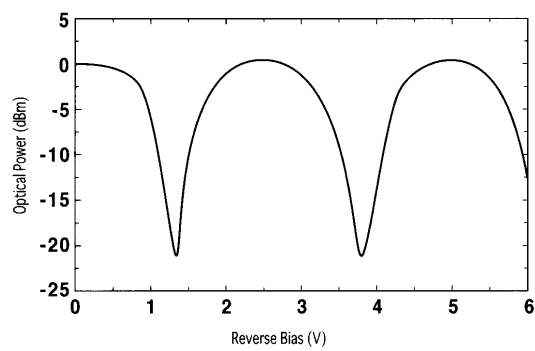
【図 3】



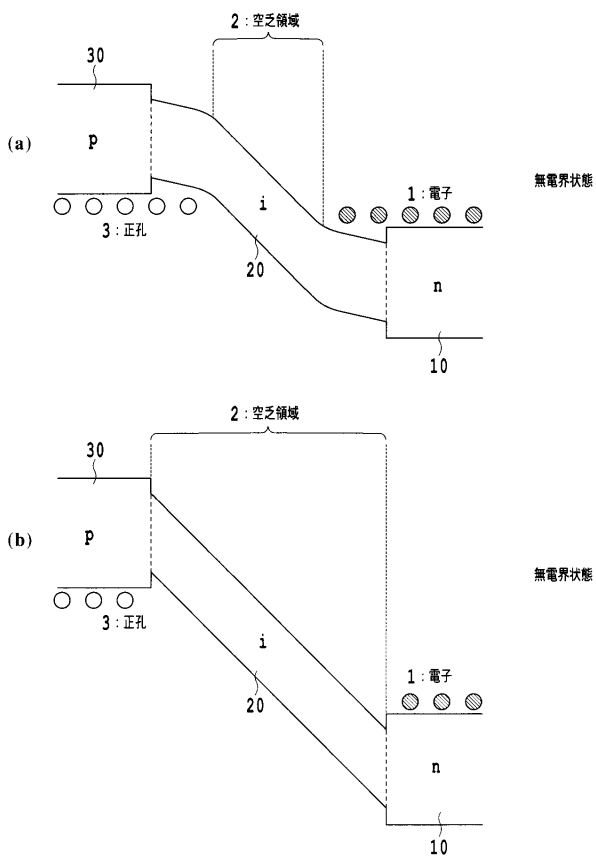
【図 4】



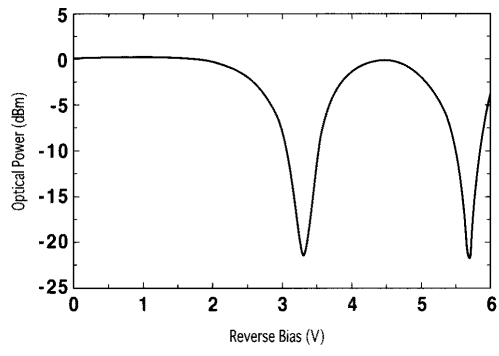
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 英一
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 植田 高盛

(56)参考文献 特開平08-248364(JP,A)
特開2004-294860(JP,A)
特開2005-010277(JP,A)
特開2003-177368(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02F 1/00 - 1/025