

(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2004-235628  
(P2004-235628A)

(43) 公開日 平成16年8月19日(2004.8.19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H01S 5/343

F 1

H01S 5/343

テーマコード(参考)

5 F 073

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2004-7511 (P2004-7511)  
 (22) 出願日 平成16年1月15日 (2004.1.15)  
 (31) 優先権主張番号 10/354276  
 (32) 優先日 平成15年1月30日 (2003.1.30)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 399117121  
 アジレント・テクノロジーズ・インク  
 A G I L E N T T E C H N O L O G I E  
 S, I N C.  
 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル  
 ト ページ・ミル・ロード 395  
 395 Page Mill Road  
 Palo Alto, California  
 U. S. A.  
 (74) 代理人 100087642  
 弁理士 古谷 聰  
 (74) 代理人 100076680  
 弁理士 溝部 孝彦  
 (74) 代理人 100121061  
 弁理士 西山 清春

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 InAsP量子井戸層とGax(AlIn)1-xP障壁層とを有するInPベースの高温レーザー

## (57) 【要約】

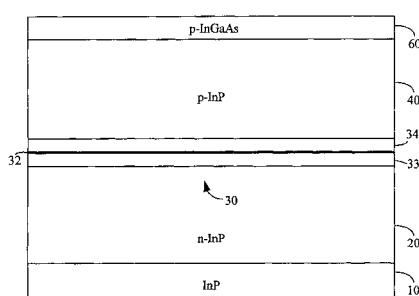
## 【課題】

閾値電流が小さく高温で良好に動作するレーザ発信器  
 を提供すること。

## 【解決手段】

本発明は波長  $1.3 \mu\text{m}$  で高温で動作するレーザー構造(100)とその製造方法を提供する。このレーザー構造(100)は InAsP の量子井戸層を有する。量子井戸層(32)は第1の障壁層(33)と第2の障壁層(34)の間に挟まれる。障壁層(33)(34)は量子井戸層(32)よりも高いバンドギャップエネルギーを有する。また、各障壁層(33)(34)は  $\text{Gax(AlIn)}_{1-x}\text{P}$  ( $x = 0$ ) を含む。この物質は  $\text{InGaP}$  等の従来の障壁層物質よりもバンドギャップエネルギーが大きい。そのため、伝導帯の不連続性が大きくなり、レーザ構造(100)の閾値電流を増大させることなく、高温性能を向上させることができる。

## 【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

高温で動作可能なレーザー構造(100)であって、第1の障壁層(33)と第2の障壁層(34)との間に挟まれたInAsPの量子井戸層(32)を含み、前記第1の障壁層(33)及び第2の障壁層(34)が $Ga_x(AlIn)_{1-x}P(x=0)$ を含み、前記第1および第2の障壁層がそれぞれ前記量子井戸層(32)よりも大きいバンドギャップエネルギーを有する、レーザ構造。

## 【請求項 2】

$x > 0$ である、請求項1のレーザー構造(100)。

## 【請求項 3】

前記第1の障壁層(33)の下に配置された第1のクラッド層(20)と、前記第2の障壁層(34)の上に配置された第2のクラッド層(40)とを更に含む、請求項1のレーザー構造(100)。

## 【請求項 4】

前記第1のクラッド層(20)の下に配置された基板(10)を更に含む、請求項2のレーザー構造(100)。

## 【請求項 5】

前記基板がInPを含む、請求項4のレーザー構造(100)。

## 【請求項 6】

前記第2のクラッド層(40)の上に配置されたキャップ層(60)を更に含む、請求項4のレーザー構造(100)。

## 【請求項 7】

高温で動作可能なレーザー構造(100)を製造する方法(500)であって、

基板(10)を設けるステップと、

前記基板(10)上に第1のクラッド層(20)を形成するステップと、

前記第1のクラッド層(20)の上に、 $Ga_x(AlIn)_{1-x}P(x=0)$ を含む第1の障壁層(33)を形成するステップと、

前記第1の障壁層(33)の上に、前記第1の障壁層(33)よりも低いバンドギャップエネルギーを有するInAsP量子井戸層(32)を形成するステップと、

前記量子井戸層(32)の上に、前記量子井戸層(32)よりも高いバンドギャップエネルギーを有し、 $Ga_x(AlIn)_{1-x}P(x=0)$ を含む第2の障壁層(34)を形成するステップと、

前記第2の障壁層(34)の上に第2のクラッド層(40)を形成するステップと、  
からなる方法。

## 【請求項 8】

$x > 0$ である、請求項7の方法(500)。

## 【請求項 9】

前記基板(10)がInPを含む、請求項7の方法(500)。

## 【請求項 10】

前記第2の障壁層(34)の上に、前記第2の障壁層(34)よりも低いバンドギャップエネルギーを有するInAsPから成る第2の量子井戸層を形成するステップと、

前記第2の量子井戸層の上且つ前記第2のクラッド層(40)の下に、前記第2の量子井戸層よりも高いバンドギャップエネルギーを有する $Ga_x(AlIn)_{1-x}P(x=0)$ の第3の障壁層を形成するステップと、

を更に含む、請求項7の方法(500)。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は概して発光素子に関し、詳しくは半導体レーザーに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

波長  $1.3 \mu m$  で動作する半導体レーザーの主な製造方法では、InP 基板上に形成され複数のInAsP 歪み量子井戸が用いられる。いずれの半導体レーザーにとっても、デバイスの性能を決定する要因の 1 つは閾値電流が受ける温度の影響である。

## 【0003】

InP 基板上に設けられた従来のレーザーの閾値電流および放射効率は、動作温度に強く依存する。具体的には、閾値電流  $I_{th}$  は次の式で定義される。

## 【0004】

$$I_{th} = I_0 e \times p (T / T_0) \quad (式1)$$

## 【0005】

ただし、 $I_0$  は定数、 $T$  は動作温度、 $T_0$  は特性温度である。式 1 に示すように、閾値電流  $I_{th}$  は温度比  $T / T_0$  が増大するのにつれて指数関数的に増大する。従って、 $T_0$  を非常に大きな値にすれば、閾値電流  $I_{th}$  は温度  $T$  の変化の影響をほとんど受けなくなる。従って、優れた高温特性をレーザーで実現するためには、特性温度  $T_0$  を大きくすることより、温度の影響を受けにくい特性にすることが望ましい。

## 【0006】

従来のInAsP活性領域の場合、量子井戸層のInAsPと障壁層の物質との間の伝導帯バンドオフセットが小さいことが原因で電子閉じ込め能力が低いため、温度性能に制約がある。従ってそれらのレーザーの高温時の性能は満足できるものではない。

## 【0007】

例えば、活性領域がInAsPである場合、障壁層物質として用いられる一般的な物質を 2 つをあげると、InGaP と AlInGaAs があげられる。InAsP 量子井戸層と InGaP 障壁層とを有するレーザーは閾値電流が小さいが、これらのレーザーは温度が高くなると劣悪な性能しか示さない。InAsP と InGaP との間の伝導帯の不連続性に関しては、科学界においてかなり大きな意見の相違がある点に注意する必要がある。

## 【0008】

InAsP 量子井戸層と AlInGaAs 障壁層とを有するレーザーは、InAsP 量子井戸層と InGaP 障壁層とを有するレーザーよりも閾値電流が大きいが、高温での特性は優れている。その理由は、InAsP / AlInGaAs 界面における欠陥の存在である。例えば、それらの欠陥は、量子井戸層または障壁層において無放射部の中心として作用し、閾値電流を増大させ、 $T_0$  を大きくする場合がある。

## 【0009】

また、エピタキシャル成長によって形成される InAsP の層の品質は、一般に成膜温度が低くなるほど向上する。従って、InAsP 量子井戸層を有する活性領域は、比較的低温度で形成される。しかしながら、障壁層物質 AlInGaAs の結晶品質を向上させるためには高い成膜温度が必要であり、低い成膜温度では、量子井戸層物質 InAsP の上に高品質の AlInGaAs 障壁層を作成することが出来ない。

## 【0010】

従って、量子井戸層が InAsP である場合、障壁層物質に InGaP や AlInGaAs を使用しても、所望の低い閾値電流や、高温でのレーザー性能を得ることは出来ない。そのため、上述のような欠点を解決したいという産業上の需要がある。

## 【発明の開示】

## 【課題を解決するための手段】

## 【0011】

本発明は、高温において波長  $1.3 \mu m$  で動作するレーザー構造と、そのようなレーザー構造を製造する方法を提供する。このレーザー構造は InAsP の量子井戸層を含む。量子井戸層は第 1 の障壁層と第 2 の障壁層の間に挟まれる。各障壁層の物質は、量子井戸層の物質よりも高いバンドギャップエネルギーを有する。各障壁層は、 $Ga_x (AlIn)_{1-x} P$  を含む。ただし  $x = 0$  である。この物質は、InGaP 等の従来の障壁層物質よりも高いバンドギャップエネルギーを有する。そのため、伝導帯の不連続性が大きくなり

10

20

30

40

50

、レーザー構造の閾値電流を増大させることなく高温での性能を向上させることができる。

【0012】

本発明、高温において波長  $1.3\text{ }\mu\text{m}$  で動作するレーザー構造を製造方法も提供する。この方法は、InPの基板を設けるステップと、該基板上に下部クラッド層を形成するステップと、下部クラッド層上に  $\text{Ga}_x(\text{AlIn})_{1-x}\text{P}$  ( $x = 0$ ) の第1の障壁層を形成するステップと、第1の障壁層上に InAsP の量子井戸層を形成するステップと、量子井戸層上に  $\text{Ga}_x(\text{AlIn})_{1-x}\text{P}$  ( $x = 0$ ) の第2の障壁層を形成するステップと、第2の障壁層上に上部クラッド層を形成するステップとを含む。

【0013】

本発明の他の特徴及びノウハウは、当業者であれば下記の詳細な説明及び添付の図面を参照することにより明らかになるだろう。説明に含まれるそれらの更なる特徴及び利点は、特許請求の範囲によって保護される。

【0014】

本発明の多数の実施形態は、添付の図面を参照することでより深く理解することが出来る。図面中の要素は必ずしも寸法通りに描いたものでなく、本発明の原理を分かりやすく説明するために強調して描いてある。また、複数の図を通じて、対応する要素には同じ符号を図面に付した。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

本発明は、高温下で且つ長波長において良好なレーザー性能を有する改良型レーザー構造を提供する。このレーザー構造は、 $\text{Ga}_x(\text{AlIn})_{1-x}\text{P}$  の障壁層 ( $x = 0$ ) を有する InAsP の量子井戸層が配置された活性領域を有する。本発明は、温度の影響を受けない特性を持つ  $1.3\text{ }\mu\text{m}$  レーザーの生成に使用することが可能な、InAsP 量子井戸と  $\text{Ga}_x(\text{AlIn})_{1-x}\text{P}$  障壁層とを有するレーザー構造を提供する。

【0016】

図1に示すように、レーザー構造100の第1の実施例はInP基板10を含む。該基板上には、エピタキシャル成長によりn-InPクラッド層20、活性領域30、p-InPクラッド層40、及びp-InGaAsキャップ層60が形成される。活性領域30は、単一量子井戸構造を含む。単一量子井戸構造は、InAsPの歪み量子井戸ヘテロ構造活性層32を含む。InAsP量子井戸層32は、脇から障壁層33と34で挟まれる。障壁層は  $\text{Ga}_x(\text{AlIn})_{1-x}\text{P}$  ( $x = 0$ ) から成る。代替実施形態では、活性領域30がn層のInAsP量子井戸層と( $n + 1$ )層の  $\text{Ga}_x(\text{AlIn})_{1-x}\text{P}$  障壁層 ( $x = 0$ ) とから成る多重量子井戸構造を含む場合もある点に注意して欲しい。

【0017】

InGaP中のGaの一部又は全てをAlに置換することにより、量子井戸層32の物質と障壁層33、34の物質との間における伝導帯及び価電子帯の不連続性が大きくなる。例えば、図2は、歪みInGaPのバンドエネルギーのGaモル分率に対する依存度と、AlInP(すなわち  $x = 0$  としたときの  $\text{Ga}_x(\text{AlIn})_{1-x}\text{P}$ )のAlモル分率に対する依存度とを示したグラフである。図2は、AlInP障壁層物質がInGaP障壁層物質よりも高いバンドギャップエネルギーを有することを顕著に示している。障壁層33、34の物質AlInP中の所定のモル分率のAlは、InGaP中の同じモル分率のGaよりも高いバンドギャップエネルギーを作り出すという点に、着目して欲しい。従つて、量子井戸層32の物質InAsPと障壁層33、34の物質AlInPとの間のバンドオフセットが大きくなる。バンドオフセットを大きくすることにより、レーザーの閾値電流を著しく増大させることなく高温性能を向上させることが可能になる。

【0018】

図3は、Gaモル分率の関数としての無歪みInGaPとAlモル分率の関数としてのAlInPとの間の伝導帯の不連続性を示すグラフである。詳しくは、この不連続性は、障壁層33、34を所与のGaモル分率を有するInGaPに替えて同じAlモル分率を

10

20

30

40

50

有する AlInP で構成したときの、 InAsP 量子井戸層 32 中の電子に対する増加分の障壁を表している。障壁層 33、34 の物質である InGaP 中の Ga を Al で置換することにより、障壁層のバンドエネルギーは図 4 に示すように増大する。バンドエネルギーを増大させることにより、 InAsP 量子井戸 32 中の障壁層によって得られるキャリア閉じ込め能力が向上し、高温性能が改善される。従って、レーザー構造 100 は従来の長波長光源に比べて優れた温度特性を有する。

#### 【0019】

更に、本発明の障壁層 33、34 の物質 AlInP は、従来の障壁層物質 AlInGaAs と異なり、燐 (P) とアルミニウム (Al) を含む。これらの成分により、本発明の障壁層物質は、Al と砒素 (As) を含む物質よりも、低い成膜温度で良好な結晶品質を作成することが可能になる。この特性は、P (P は As よりも小さい原子である) が反応性の Al に対して強い結合特性を有することから得られる。そのため、P を成分に含む Al 化合物は、As を成分に含む Al 化合物よりも結晶品質が優れている (成膜温度と Al モル分率を一定に維持した場合)。従って、活性領域 30 の障壁層 33、34 の物質として、AlInGaAs に替えて AlInP を用いることにより、量子井戸層の障壁層との界面を良好なものにすることができる、一般的には障壁層物質も良好なものになる。結晶品質の向上により、閾値電流も小さくなる。

#### 【0020】

これに対応して、特定のレーザー用途では、障壁層物質に AlGaInP (すなわち  $x = 1$  としたときの  $Ga_x(AlIn)_{1-x}P$ ) を用いるのが好ましい場合がある。なぜなら、AlGaInP の伝導帯エネルギーは、AlInP の伝導体エネルギーと InGaP の伝導帯エネルギーの間にあるからである。こうすることにより、量子井戸層 32 の物質に対してバンドオフセットが低くなり、活性領域 30 中のキャリア分布が良好になる。

#### 【0021】

図 5A ~ 図 5D は、本発明のレーザー構造を製造するプロセス 500 の一実施形態を示す図である。図 5A に示すように、InP の単結晶から成る基板 10 を用意する。図 5B において、この基板 10 上に、n-InP (通常、Si、Se 又は Te がドープされている) から成る  $3 \mu m$  のクラッド層を  $600$  でエピタキシャル成長させる。次に図 5C において、クラッド層 20 の上に活性領域 30 を形成する。この活性領域 30 は、 $x = 0$  とした  $Ga_x(AlIn)_{1-x}P$  の障壁層 33 と、InAsP の量子井戸層 32 と、 $x = 0$  とした  $Ga_x(AlIn)_{1-x}P$  のもう 1 つの障壁層 34 とを成膜することにより形成される。InAsP 量子井戸層と  $Ga_x(AlIn)_{1-x}P$  障壁層は、通常約  $550$  で成膜され、それぞれ約  $10 nm$  の厚さに形成される。次に図 5D に示すように、活性領域 30 の上に p-InP のクラッド層 40 を成膜する。この p-InP クラッド層 40 の厚さは通常  $3 \mu m$  であり、約  $600$  で成膜される。p-InP クラッド層 40 には通常、ドーパントとして Zn が用いられる。最後に p-InGaAs (Zn をドープしたもの) のキャップ層 60 を成膜する。

#### 【0022】

代替実施形態において、このレーザー構造は、活性領域の反対側に配置された導波路層を含む場合がある。導波路層は InGaAsP または AlInGaAs から形成することができる。

#### 【0023】

あるいは、活性領域 30 は、更なる量子井戸層とそれに対応する数の障壁層とから成る複数の量子井戸構造を含んでもよい。通常、InAsP 量子井戸層は、InP 基板上に成膜された場合、圧縮歪みを有する。InAsP の量子井戸層を有するレーザーでは、この圧縮歪みにより、透明度が低下し、微分利得が大きくなる。このことは、効率が高く高速なデバイスが得られるという重要な可能性を示唆するものである。しかしながら、InAsP 量子井戸層における圧縮歪みの大きさ (典型的には、InAsP 中の As が 40 % のとき約 1.25 % の歪みが生じる) は、量子井戸層の物質 InAsP が歪み限界に到達するまでに追加し得る InAsP 量子井戸層の数に制限を与える。従って、この圧縮歪みを

10

20

30

40

50

相殺するため、障壁層 3 3、3 4 に使用される  $Ga_x(AlIn)_{1-x}P$  に引張歪みが加えられる場合がある。この引張歪みの大きさは、 $Ga_x(AlIn)_{1-x}P$  中の In と Ga の相対的な組成を変えることにより容易に変化させることができる。障壁層 3 2、3 4 の  $Ga_x(AlIn)_{1-x}P$  において  $x = 0.15$  としたとき、通常 1 % の引張歪みが得られる。

#### 【0024】

本発明の上記の実施形態は、考え得る実施形態の例を説明しただけであり、本発明を分かりやすく理解する目的で提示したものに過ぎない。本発明の上記の実施形態には、本発明の原理から実質的に外れることなく、多数の変更や修正を加えることが可能である。例えば、レーザー構造の  $InAsP/Ga_x(AlIn)_{1-x}P$  活性領域 3 0 の外にある層は、数や構成が例示したものと異なっていてもよいと考えられる。エッチングや層順序の入れ替え等、追加の製造工程を実施することも可能である。その結果、本発明に従い、多種のデバイスを形成することが出来る。そのような変更形態や修正形態もすべて本発明の開示範囲に含まれ、特許請求の範囲によって保護されるものとする。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0025】

【図 1】本発明のレーザー構造の第 1 の実施形態を示す断面図である。

【図 2】図 1 に示すレーザーの障壁層物質の部分組成のバンドエネルギーの依存度を従来の障壁層物質  $InGaP$  と比較したグラフである。

20

【図 3】図 1 に示したレーザーの障壁層物質の部分組成に対する伝導帯不連続性の依存度を従来の障壁層物質  $InGaP$  と比較したグラフである。

【図 4】図 1 のシステムの一実施形態における障壁層物質  $AlInGaP$  のエネルギーレベルを従来の障壁層物質  $InGaP$  と比較したグラフである。

【図 5】A ~ D は、図 1 に示す第 1 の実施形態のレーザー構造を製造するためのプロセスを示す斜視図である。

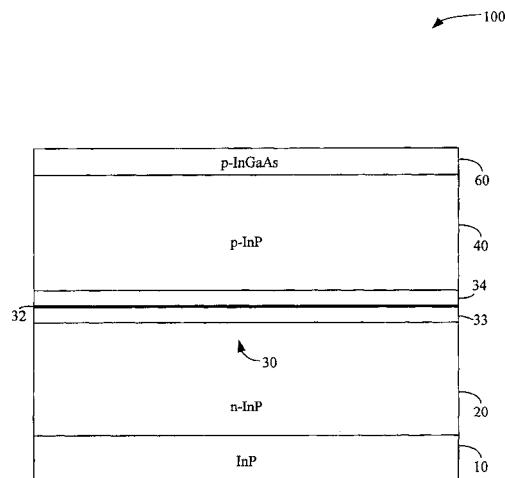
30

#### 【符号の説明】

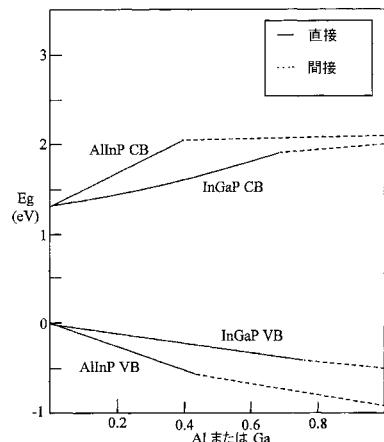
#### 【0026】

- 1 0 基板
- 2 0 第 1 のクラッド層
- 3 2 量子井戸層
- 3 3 第 1 の障壁層
- 3 4 第 2 の障壁層
- 4 0 第 2 のクラッド層
- 6 0 キャップ層
- 1 0 0 レーザー構造

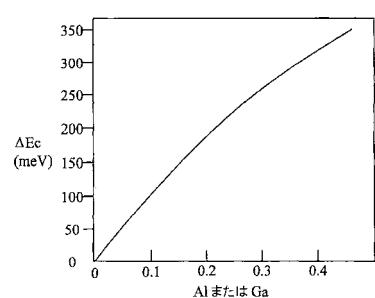
【図1】



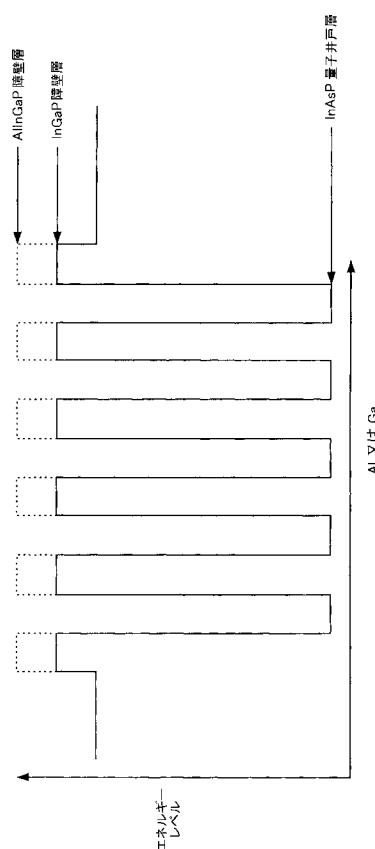
【図2】



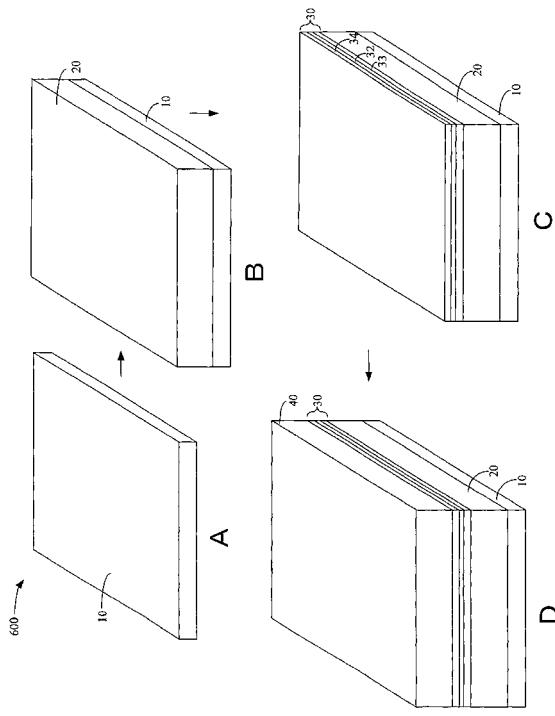
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

(72)発明者 アシシュ・タンドン

アメリカ合衆国カリフォルニア州94087, サニーベイル, ロビン・ウェイ・927

(72)発明者 イン・イアン・チャン

アメリカ合衆国カリフォルニア州95014, クバチーノ, プレジディオ・ドライブ・8099

(72)発明者 スコット・ダブリュー・コルジン

アメリカ合衆国カリフォルニア州94087, サニーベイル, イグレット・ドライブ・1354

(72)発明者 デイビッド・ピー・ボア

アメリカ合衆国カリフォルニア州95014, クバチーノ, ベル・エイラー・コート・11092

(72)発明者 マイケル・アール・ティー・タン

アメリカ合衆国カリフォルニア州94025, メンロパーク, コットン・ストリート・315

F ターム(参考) 5F073 AA73 CA07 CA14 CB02 CB10