



Espacenet

Bibliographic data: JPS5967676 (A) — 1984-04-17

SUPER LATTICE NEGATIVE RESISTANCE ELEMENT

Inventor(s): YANASE TOMOO; RANGU HIROYOSHI ± (YANASE TOMOO, ; RANGU HIROYOSHI)

Applicant(s): NIPPON ELECTRIC CO ± (NIPPON DENKI KK)

Classification: - **international:** *H01L47/00*; (IPC1-7): H01L47/00
- **cooperative:**

Application number: JP19820178827 19821012

Priority number(s): JP19820178827 19821012

Abstract of JPS5967676 (A)

PURPOSE:To obtain a large amplification degree by a method wherein thin film layers of different forbidden band widths are formed alternately, and a thin film of a smaller forbidden band width is so formed that the lower end shape of a conduction band becomes parabolic. **CONSTITUTION:**In layers 31 sandwiched by layers 32 of larger forbidden band widths, the position of the lower ends of the conduction layer thereof varies in a direction vertical to a thin film surface and in parabolic form projected downward. If the shape of a potential well of the conduction band is on the parabola, discrete energy levels are shown to be at equal intervals by quantum mechanics. Thus, a region 42 with the concentration of field drops generates. When an impressed voltage is increased up to a suitable value, the energy level of the left side layer and that of the right side with the thin film region 42 placed therebetween are coincident by a plurality of pairs (four pairs in this case), and accordingly resonant tunnel current 41 flows through the four pairs of levels. Therefore, a large differential negative resistance can be obtained.



Notice

This translation is machine-generated. It cannot be guaranteed that it is intelligible, accurate, complete, reliable or fit for specific purposes. Critical decisions, such as commercially relevant or financial decisions, should not be based on machine-translation output.

DESCRIPTION JPS5967676

[0001]

The present invention relates to a negative resistance element. Although development of FE 1', Gunn oscillator, Impulse oscillator 9, etc., etc. are actively developed as the amplification of the high frequency amplifier or oscillator, using the lattice lattice having the negative differential resistance can result in high frequencies not available in other devices Since there is a possibility that it can operate in the region, the super lattice negative resistance element is considered to be a promising future. The super lattice negative resistance element conventionally proposed has a conduction band structure shown in FIG. 1 in real space. In a usual superlattice negative resistance element, a layer 11 having a narrow forbidden band formed of GaAs which is a binary mixed crystal and a layer 12 having a wide forbidden band width formed of GaAlAs which is a ternary mixed crystal, Alternately stacked. At this time, when the thickness of the GaAs layer is reduced to about 200 angstroms, the energy level at which electrons in the GaAs layer can exist is discretized, the level at the base energy level of 13.2 ft. 14, the level at the 15 th. 16 and so on. In this way, when the thickness of the layer 12 having a wide forbidden band sandwiched between the layers having the energy level defeated by ΔE becomes as thin as several angstroms, in a state where a voltage is applied in the direction perpendicular to the thin film layer, Tunnel current flows. Tunnel current flows when the voltage is applied to the superlattice shown in Fig. 1, and the differential negative resistance appears when the applied voltage reaches an appropriate value, referring to El · Eagle et al. (Physical review letter. 33, 495, 1974). A state in which the differential negative resistance at this time is obtained will be described with reference to FIG. Figure 2 shows the structure of the bottom of the conduction band in real space when a voltage is applied to the superlattice composed of GaAs and GaAlAs shown in Figure 1 in a direction perpendicular to the superlattice plane. When the voltage applied in the direction perpendicular to the superlattice surface is raised to an appropriate value, the high electric field region 22 shown in FIG. 2 is generated. When the applied voltage is further increased under the condition that the high electric field region 22 is generated, the tunnel current 21 increases. This phenomenon occurs when the base energy level 13 of the layer with a narrow forbidden band width on the left side of the high electric field region 22 and the second energy level 14 of the layer with a narrow forbidden band width on the right side become substantially equal to each other, This phenomenon occurs because the tunneling current increases resonantly. When the tunneling current increases resonantly, the differential resistance of the superlattice becomes negative and the superlattice operates as a negative resistance element. However, as shown in FIG. 1, since the shape of the potential well of the conventionally suggested superlattice 1114 is box-shaped, the discretized energy levels 11 to 16 are non-equidistant (the energy level is $(n + 1) \Delta E$, And n is the number of the level).

Then, even if voltage is applied vertically to the superlattice, two or more adjacent energy levels do not coincide with each other, and at most one energy level coincides. Therefore, the resonant tunneling current flowing through the matching energy level is weak, the differential negative resistance is small, and a large amplification degree can not be obtained. Therefore, an object of the present invention is to provide a negative resistance element having a superlattice structure, which has a large amplification degree of 4×10^4 . According to the present invention, in a negative resistance element having a superlattice structure in which two kinds of mixed crystal semiconductor thin film layers having different forbidden band widths are alternately formed on a semiconductor crystal substrate, in a thin film layer is the forbidden band width of the

two types of thin film layers small so that the shape of the lower end of the conduction band becomes parabolic in the vertical direction? 1. A super lattice negative resistance element can be obtained that contains a portion in which the mixed crystal composition of the casing film is changed as a% sign. Next, the present invention will be described in detail with reference to the drawings. FIG. 3 is a view of the lower end of the conduction band of the band structure for explaining the first embodiment of the present invention. In the multilayer thin film structure shown in FIG. 3, in the layer 31 narrowed by the GaAs layer 32 having a large forbidden band width, the position of the lower end of the conduction band is convex downward in a direction perpendicular to the thin 11 plane It changes like a parabola. The lower end shape of this parabolically changing conductive band is the same as the lower end shape of A! In the form of a parabola. When the shape of the potential well of the conduction band is parabolic, quantum mechanics indicates that the discretized energy levels are equally spaced. FIG. 4 shows a situation in which a voltage is applied to this superlattice having equally spaced energy levels. Similarly to the conventional superlattice shown in FIG. 2, a region 42 in which the electric field drop concentrates occurs. When the applied voltage is increased to an appropriate value, the thin film region 42 is sandwiched between the left side GaAs and the right side GaAs. The energy level of one layer and the energy level on the right side coincide with plural sets (in this case, 4 pairs), and resonance tunneling occurs between the four sets of levels. A flow 41 flows. In the conventional superlattice, as shown in FIG. 2, the resonantly flowing tunnel current 21 passes only through a set of matching energy levels, so the differential negative resistance is small. In the real JJA example, a resonant tunneling current C flow flows between multiple pairs of levels, so a large differential negative resistance can be obtained. Yet, according to this embodiment, it is possible to obtain a superlattice (a negative resistance element having a p-i-n structure) which can obtain a large amplification degree.

The superlattice mentioned on the previous page on the real flow side was produced by the molecular beam epitaxy method. GaAs and AlAs. Molecular Beam Epitaxy Device with Cells to Generate F? The temperature of the cell generating f, A) was adjusted such that the Al content temporally quadratically increased and decreased to form a forbidden band narrower layer 31 shown in FIG. 3. FIG. 5 is a view for explaining a second embodiment of the present invention. Forbidden band: The narrow layer 51 has a dedicated guiding band end shape consisting of a right half of a downwardly convex parabola. Also in this embodiment, as in the first embodiment, the energy levels of the quantum generated in the layer 51 having a narrow forbidden band width are equally spaced, and the same effect as in the first embodiment can be obtained. Although the mixed crystal of GaAs/AlAs is used in the above examples, it is obvious that the present invention is not limited to the crystal material and other materials such as AlGaAs/Sb/GaAs may be used.

[0002]

Brief Description of the Drawings

[0003]

FIG. 1 is a view showing the lower end of the band structure of a band structure for explaining a conventional superlattice negative resistance element, FIG. 2 is a view for explaining the operation principle of the band structure, and FIG. 3 FIG. 4 is a view for explaining the operating principle of the first embodiment of the present invention, and FIG. 5 is a view for explaining the operation of the second embodiment of the present invention FIG. 5 is a view of the lower end of the guiding band of the band structure for explaining the embodiment.

11 is a layer having a narrow forbidden band width of a conventional superlattice, 12 is a layer having a wide forbidden band, 13 to 16 are discretized energy levels, 21 is a tunnel current, 22 is a region where the electric field is concentrated, A layer with a narrow forbidden band width of the superlattice of the first embodiment, 32 a forbidden band wide layer of AlGaAs, 41 a tunnel current, 42 an AlGaAs region in which the electric field is concentrated, 51 a second non- Of the embodiment of the present invention (a layer with a narrow forbidden band width of the lattice). Secret 1 Figure u4 7



Notice

This translation is machine-generated. It cannot be guaranteed that it is intelligible, accurate, complete, reliable or fit for specific purposes. Critical decisions, such as commercially relevant or financial decisions, should not be based on machine-translation output.

CLAIMS JPS5967676

1.

In the negative resistance element having a superlattice structure in which two types of mixed crystal semiconductor thin film layers having different forbidden band widths are alternately formed in a layer, in the negative resistance element in the thin film layer in the direction perpendicular to the thin film surface, (1) wait that it contains a portion where the j crystal composition of thin j has a small forbidden band width among the above two kinds of $\#$ film layers so that the shape of the lower end of $ii =$ becomes parabolic Super lattice negative resistance element.

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—67676

⑤ Int. Cl.³
H 01 L 47/00

識別記号

庁内整理番号
7357—5F

④ 公開 昭和59年(1984)4月17日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 3 頁)

⑤ 超格子負性抵抗素子

⑦ 発明者 覧具博義

東京都港区芝五丁目33番1号日
本電気株式会社内

② 特 願 昭57—178827

② 出 願 昭57(1982)10月12日

⑧ 出 願 人 日本電気株式会社

⑦ 発 明 者 柳瀬知夫

東京都港区芝五丁目33番1号日
本電気株式会社内

東京都港区芝5丁目33番1号

⑨ 代 理 人 弁理士 内原晋

明 細 書

1. 発明の名称 超格子負性抵抗素子

2. 特許請求の範囲

半導体結晶基板上に、禁制帯幅が異なる二種類の混晶半導体薄膜層を交互に複数層形成した超格子構造を有する負性抵抗素子において、薄膜層内で薄膜面に垂直な方向に、導電帯の下端の形状が放物線状になるように、前記二種類の薄膜層のうちの禁制帯幅が小なる薄膜の混晶組成が変化している部分を含むことを特徴とする、超格子負性抵抗素子。

3. 発明の詳細な説明

本発明は、負性抵抗素子に関するものである。高周波用増幅器又は発振器の増幅素子として、FET、ガン発振器、インパット発振器、等などの開路が盛んであるが、負性微分抵抗を有する超格子を用いると、他のデバイスでは得られない高

周波域で動作が出来る可能性があることから、超格子負性抵抗素子は将来性が高いと考えられている。

従来提案されてきた超格子負性抵抗素子は、第1図に示す導電帯バンド構造を真空間で有する。通常の超格子負性抵抗素子は、二元混晶であるGaAsで形成された禁制帯幅の狭い層11と、三元混晶であるGaAlAsで形成された禁制帯幅の広い層12とが、交互に積層した構造を有する。このさい、GaAs層の厚みが200オングストローム程度迄薄くなると、GaAs層中の電子が存在出来るエネルギーレベルは離散化し、基底エネルギーレベル13、2番目のレベル14、3番目のレベル15、4番目のレベル16などが発生する。このように、離散化したエネルギーレベルを有する層をはさむ、禁制帯幅の広い層12の厚みが、数百オングストローム程度に薄くなると、薄膜層と垂直の方向に電圧を印加した状態で、トンネル電流が流れる。第1図に示す超格子に、電圧を印加した時、トンネル電流が流れ、印加電圧が適切

な値になったとき微分負性抵抗が現われることは、エル・エサキ等(フィジカル・レビュー・レター、33巻、495頁、1974年)によって報告された。このときの微分負性抵抗が得られた状態を、第2図を用いて説明する。第2図は、第1図に示されたGaAsとGaAlAsからなる超格子に超格子面と垂直な方向に電圧を印加したときの、実空間における導電帯下端の構造を示す。超格子面に垂直の方向に印加する電圧を適切な値迄上昇すると、第2図に示される高電界領域22が発生する。高電界領域22が発生する条件下で、印加電圧をさらに増加すると、トンネル電流21が増大する。この現象は、高電界領域22の左側の禁制帯幅の狭い層の基底エネルギーレベル13と、右側の禁制帯幅の狭い層の2番目のエネルギーレベル14とがほぼ等しいエネルギーになったときに、共鳴的にトンネル電流が増大するために生じる。共鳴的にトンネル電流が増大すると、超格子の微分抵抗が負になり、超格子が負性抵抗素子として動作する。ところが、従来の提案された超格子構造は、

る、超格子負性抵抗素子が得られる。

次に図面を用いて本発明を詳細に説明する。

第3図は本発明の第1の実施例を説明するバンド構造の導電帯下端の図である。第3図に示した多層薄膜構造において、禁制帯幅が大なるGaAlAs層32に挟まれた層31内で、その導電帯の下端の位置は、薄膜面と垂直な方向に、下に凸な放物線状に変化する。この放物線状に変化する導電帯の下端形状は、薄膜層31の層内でのAlの組成を放物線状に変化させることによって得られる。導電帯のポテンシャル井戸の形状が放物線状であると、離散化したエネルギーレベルは、等間隔になることが量子力学によって示される。第4図は、等間隔のエネルギーレベルを有するこの超格子に、電圧を印加した状況を示す。第2図で示した従来の超格子と同様に、電界降下が集中した領域42が発生する。印加電圧を適当な値迄増加すると、前記薄膜領域42を狭んで、左側のGaAs層のエネルギーレベルと右側のエネルギーレベルは複数組(この場合は4組)で一致し、4組のレベル間

第1図に示すように、ポテンシャル井戸の形状が箱型であるため、離散化したエネルギーレベル11から16は非等間隔(エネルギーレベルが $(n+1)^2$ に比例、 n はレベルの番号)となる。すると、超格子に垂直に電圧が印加されても、隣同志のエネルギーレベルが2つ以上一致することなく、たかだか1つのエネルギーレベルが一致するにすぎない。そのため、一致したエネルギーレベルを介して流れる共鳴的なトンネル電流は微弱であり、微分負性抵抗は小さく、大きな増幅度が得られない。そこで、本発明の目的は、大きな増幅度が得られる、超格子構造を有する負性抵抗素子を提供することにある。

本発明によれば、半導体結晶基板上に、禁制帯幅が異なる二種類の混晶半導体薄膜層を交互に複数層形成した超格子構造を有する負性抵抗素子において、薄膜層内で薄膜面に垂直な方向に、導電帯の下端の形状が放物線状になるように、前記二種類の薄膜層のうちの禁制帯幅が小なる薄膜の混晶組成が変化している部分を含むことを特徴とす

を通じて共鳴的なトンネル電流41が流れる。従来の超格子では、第2図に示すように共鳴的に流れるトンネル電流21は一組の一致したエネルギーレベルを介するだけなので微分負性抵抗は小さかった。実施例では、複数組のレベル間を通じて、共鳴的なトンネル電流が流れるため、より大きな微分負性抵抗が得られる。よって、本実施例によれば、大きな増幅度が得られる超格子構造を有する負性抵抗素子を得ることが出来る。

前記実施例に述べた超格子は、分子ビームエピタキシー法で製造した。GaとAlとAlを発生するセルを有する分子ビームエピタキシー装置で、Alを発生するセルの温度はAl線量が時間的に2次関数的に増減するよう調製して、第3図に示す禁制帯幅が狭い層31を形成した。

第5図は、本発明の第2の実施例を説明する図である。禁制帯幅が狭い層51は、下に凸な放物線の右半分からなる導電帯端形状を有する。本実施例においても、第1の実施例と同様に、禁制帯幅が狭い層51内に発生する電子のエネルギーレ

ベルは等間隔になり、第一の実施例と同様の効果を
得ることが出来る。

以上の実施例では $GaAlAs/GaAs$ の混晶を用い
たが、本発明は結晶材料に限定されず $AlGaAs$
 $Sb/GaSb$ 等、他の材料を用いても良いのは明らか
である。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、従来の超格子負性抵抗素子を説明す
るためのバンド構造の導電帯下端を示す図、第2
図はその動作原理を説明する図、第3図は本発明
の第一の実施例を説明するためのバンド構造の導
電帯下端の図、第4図は本発明の第1の実施例の
動作原理を説明する図、第5図は本発明の第2の
実施例を説明するためのバンド構造の導電帯下端
の図である。11は従来の超格子の禁制帯幅の狭
い層、12は禁制帯幅の広い層、13から16は
分散化したエネルギーレベル、21はトンネル電
流、22は電界が集中した領域、31は本発明第
一の実施例の超格子の禁制帯幅の狭い層、32は

禁制帯幅の広い層、41はトンネル電流、42は
電界が集中した領域、51は本発明の第2の実施
例の超格子の禁制帯幅の狭い層、である。

代理人 青野 貞 昭

