

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf ein Halbleiter-Lichtempfangselement.

Stand der Technik

[0002] Die Patentliteratur 1 beschreibt ein Lichtempfangselement vom optischen Wellenleitertyp. Dieses Lichtempfangselement vom optischen Wellenleitertyp enthält eine erste Halbleiterschicht mit einem ersten Leitfähigkeitstyp, eine Lichtwellenleiterstruktur, die auf einem ersten Bereich der ersten Halbleiterschicht vorgesehen ist, und eine Fotodiodenstruktur vom Wellenleitertyp, die auf einem zweiten Bereich neben dem ersten Bereich der ersten Halbleiterschicht vorgesehen ist. Die Lichtwellenleiterstruktur umfasst eine Lichtwellenleiterkernschicht, die auf der ersten Halbleiterschicht vorgesehen ist, und eine Mantelschicht, die auf der optischen Wellenleiterkernschicht vorgesehen ist. Die Photodiodenstruktur vom Wellenleitertyp enthält eine lichtabsorbierende Schicht, die auf der ersten Halbleiterschicht vorgesehen ist, optisch mit der Lichtwellenleiterkernschicht gekoppelt ist und eine Absorptionskante aufweist, bei der eine Wellenlänge 1612 nm oder mehr beträgt, und eine zweite Halbleiterschicht mit einem zweiten Leitfähigkeitstyp, die auf der lichtabsorbierenden Schicht vorgesehen ist. Eine Länge der lichtabsorbierenden Schicht in Lichtwellenleiterrichtung beträgt 12 μm oder mehr.

Zitateliste

Patentliteratur

[0003] Patentliteratur 1: Ungeprüfte japanische Patentveröffentlichung Nr. JP 2009-117499 A

Zusammenfassung der Erfindung

Technisches Problem

[0004] Im Übrigen besteht auf dem oben genannten technischen Gebiet die Forderung nach einer noch höheren Arbeitsgeschwindigkeit. Zu diesem Zweck ist es denkbar, die Laufwege der Elektronen durch Ausdünnen der lichtabsorbierenden Schicht zu verkürzen. Die Ausdünnung der lichtabsorbierenden Schicht führt jedoch zu einer Abnahme der Empfindlichkeit. In einer in der Patentliteratur 1 beschriebenen Photodiode wird daher Licht aus einer Richtung, die eine Dickenrichtung der lichtabsorbierenden Schicht schneidet, auf die lichtabsorbierende Schicht eingestrahlt, wodurch die effektive Dicke der lichtabsorbierenden Schicht erhöht wird (die lichtabsorbierende Schicht hat eine Länge von 12 μm in Lichtwellenleiterrichtung). Dadurch soll eine Erhöhung der

Geschwindigkeit erreicht werden, indem eine Abnahme der Empfindlichkeit, die durch die Ausdünnung der lichtabsorbierenden Schicht verursacht wird, unterdrückt wird. Auf diese Weise wird in dem oben beschriebenen technischen Bereich eine Erhöhung der Geschwindigkeit angestrebt.

[0005] Ein Ziel der Offenbarung ist es, ein Halbleiter-Lichtempfangselement bereitzustellen, das die Geschwindigkeit erhöhen kann.

Lösung des Problems

[0006] Ein Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung ist [1] „ein Halbleiter-Lichtempfangselement zum Empfangen von einfallendem Licht in einem Wellenlängenband von mindestens einem von einem 1,3 μm -Band, einem 1,55 μm -Band und einem 1,6 μm -Bandes und zum Erzeugen eines elektrischen Signals als Reaktion auf das einfallende Licht, wobei das Halbleiter-Lichtempfangselement ein Substrat, einen auf dem Substrat ausgebildeten Halbleiter-Laminatabschnitt, der eine Rückfläche auf der Substratseite, eine Vorderfläche auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite und eine sich von der Rückfläche zur Vorderfläche erstreckende Seitenfläche aufweist, und eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode, die elektrisch mit dem Halbleiter-Laminatabschnitt verbunden sind, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine lichtabsorbierende Schicht eines ersten Leitfähigkeitstyps, die $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ enthält, eine Pufferschicht des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen dem Substrat und der lichtabsorbierenden Schicht vorgesehen ist, und eine erste Halbleiterschicht eines zweiten Leitfähigkeitstyps, der sich von dem ersten Leitfähigkeitstyp unterscheidet, die sich auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet und mit der lichtabsorbierenden Schicht verbunden ist, wobei die erste Elektrode mit einem ersten Teil des ersten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der Substratseite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet, die zweite Elektrode mit einem zweiten Teil des zweiten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet, eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0.55 oder mehr beträgt, eine Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 1,8 μm oder weniger beträgt, das Halbleiter-Lichtempfangselement von einem Seiteneinfallstyp ist, bei dem der Einfall des Lichts von der Seitenfläche empfangen wird, und eine Breite der lichtabsorbierenden Schicht entlang einer Einfallsrichtung des Lichts in Bezug auf die Seitenfläche 10 μm oder weniger beträgt“.

[0007] Das Halbleiter-Lichtempfangselement von [1] ist für Licht in Wellenlängenbändern für die optische Kommunikation bestimmt, wie z.B. ein 1,3 μm -Band (O-Band (Originalband)), ein 1,55 μm -Band (C-Band (konventionelles Band)) und ein 1,6 μm -Band (L-Band (Langwellenlängenband)). In diesem Halbleiter-Lichtempfangselement enthält die lichtabsorbierende Schicht, die auf dem Substrat angebracht ist, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Außerdem beträgt die In-Zusammensetzung x der lichtabsorbierenden Schicht 0,55 oder mehr (und weniger als 1). Wenn die In-Zusammensetzung x von $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ in der lichtabsorbierenden Schicht beispielsweise auf 0,55 oder mehr eingestellt ist, wird der Absorptionskoeffizient verbessert (der Absorptionskoeffizient wird um etwa das Zweifache verbessert, indem die Zusammensetzung x auf 0,62 im 1,55 μm -Band eingestellt wird), verglichen mit dem Fall, in dem die In-Zusammensetzung x 0,53 beträgt. Selbst wenn die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht auf ca. 1,8 μm oder weniger reduziert wird, kann daher eine Abnahme der Empfindlichkeit vermieden werden. Somit kann die Geschwindigkeit gesteigert werden. Darüber hinaus kann aus einem ähnlichen Grund die Breite der lichtabsorbierenden Schicht in Lichteinfallrichtung auf 10 μm oder weniger eingestellt werden, und die Geschwindigkeit kann durch Verringerung der Kapazität der lichtabsorbierenden Schicht weiter erhöht werden.

[0008] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [2] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [1], wobei die Pufferschicht eine Zugentlastungsschicht mit einer Gitterkonstante zwischen einer Gitterkonstante des Substrats und einer Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht enthält“. In diesem Fall wird die Kristallinität des Halbleiter-Laminatabschnitts verbessert und ein Anstieg des Dunkelstroms unterdrückt.

[0009] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [3] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [2], wobei die Pufferschicht eine Vielzahl von Zugentlastungsschichten enthält, die so angeordnet sind, dass sich die Gitterkonstante der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht schrittweise vom Substrat zur lichtabsorbierenden Schicht hin annähert“. Alternativ kann das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung [4] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [2] sein, wobei die Pufferschicht die Zugentlastungsschicht enthält, deren Gitterkonstante sich kontinuierlich vom Substrat in Richtung der lichtabsorbierenden Schichten ändert, um sich der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht anzunähern“. In diesen Fällen wird die Kristallinität des Halbleiter-Laminatabschnitts zuverlässig verbessert und ein Anstieg des Dunkelstroms unterdrückt.

[0010] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann [5] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [1] bis [4] sein, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine Deckschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der lichtabsorbierenden Schicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InAsP oder InGaAsP enthält, und eine Kontaktschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der Deckschicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InGaAs enthält, wobei die erste Halbleiterschicht die Kontaktschicht und die Deckschicht umfasst und der zweite Teil, mit dem die zweite Elektrode verbunden ist, eine Vorderfläche der Kontaktschicht ist“. In diesem Fall ist es möglich, den Kontaktwiderstand der zweiten Elektrode und den Reihenwiderstand zu verringern. Auf diese Weise ist es möglich, eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens zu verhindern. Durch die Verwendung eines Materials mit einem Brechungsindex, der niedriger ist als der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht für die Deckschicht, ist es außerdem möglich, das Licht in der lichtabsorbierenden Schicht in geeigneter Weise einzuschließen.

[0011] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann [6] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [1] bis [5] sein, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine zweite Halbleiterschicht des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen der optischen Wellenleiterschicht und der lichtabsorbierenden Schicht angeordnet ist, und eine kapazitätsreduzierende Schicht des ersten Leitfähigkeitstyps mit einer Verunreinigungskonzentration, die niedriger ist als die Verunreinigungskonzentration der zweiten Halbleiterschicht, die zwischen der zweiten Halbleiterschicht und der lichtabsorbierenden Schicht angeordnet ist, enthält“. Durch die Bereitstellung der kapazitätsreduzierenden Schicht mit einer relativ niedrigen Verunreinigungskonzentration wird auf diese Weise die kapazitätsreduzierende Schicht erschöpft, wenn eine Vorspannung angelegt wird, und somit wird die Geschwindigkeit aufgrund einer Abnahme der Kapazität weiter erhöht.

[0012] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [7] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [5], wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine dritte Halbleiterschicht enthält, die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der Deckschicht vorgesehen ist und eine Bandlücke zwischen einer Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht und einer Bandlücke der Deckschicht aufweist“. In diesem Fall kann durch die Bereitstellung einer Schicht mit einer Bandlücke zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und dem der Deckschicht zwischen den Schichten eine Bar-

riere zwischen den jeweiligen Schichten verringert und eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens unterdrückt werden.

[0013] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [8] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem der Punkte [1] bis [7], wobei mindestens eine Schicht der Pufferschicht halbisoliert ist, indem sie mit Fe dotiert ist“. In diesem Fall ist es möglich, die Kapazität zu verringern.

[0014] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [9] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [6], wobei die kapazitätsreduzierende Schicht eine Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration aufweist, die höher ist als die Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration der lichtabsorbierenden Schicht, eine Bandlücke aufweist, die größer ist als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht, und zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der Lichtwellenleiterschicht vorgesehen ist“. In diesem Fall ist die kapazitätsreduzierende Schicht, wie oben beschrieben, eine Schicht mit einer relativ niedrigen Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration und trägt zur Reduzierung der Kapazität bei. Eine einfache Verringerung der Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht kann jedoch die Barriere zwischen den Schichten erhöhen, was zu einer Verschlechterung des Ansprechverhaltens führen kann. Andererseits expandiert die Verarmungsschicht nicht, wenn die Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht erhöht wird, so dass es schwierig ist, die Kapazität ausreichend zu verringern. Um die Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht zu verringern, wird daher, wie oben beschrieben, die Lichtabsorption in der kapazitätsreduzierenden Schicht und die Erzeugung von Ladungsträgern in der kapazitätsreduzierenden Schicht aufgrund der Lichtabsorption unterdrückt, falls die kapazitätsreduzierende Schicht eine größere Bandlücke als die lichtabsorbierende Schicht aufweist, und die Verschlechterung des Ansprechverhaltens wird unterdrückt. Da die kapazitätsreduzierende Schicht eine größere Bandlücke als die lichtabsorbierende Schicht aufweist, während die kapazitätsreduzierende Schicht eine höhere Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration als die lichtabsorbierende Schicht aufweist, wird die Barriere in der kapazitätsreduzierenden Schicht reduziert.

[0015] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [10] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [6] oder [9], wobei eine Dicke der kapazitätsreduzierenden Schicht 0,3 μm oder mehr und 3,0 μm oder weniger beträgt, und eine Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht $2,0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger beträgt“. In diesem Fall

kann die kapazitätsreduzierende Schicht durch Festlegen einer Obergrenze für die Verunreinigungs- bzw. Störstellenkonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht, wie oben beschrieben, in geeigneter Weise verarmt werden, wenn eine Vorspannung angelegt wird. Durch die Einstellung der Dicke der kapazitätsreduzierenden Schicht in dem oben genannten Bereich ist es außerdem möglich, eine Abnahme der Ansprechgeschwindigkeit und einen Anstieg des Reihenwiderstands des Halbleiter-Lichtempfangselements zu unterdrücken.

[0016] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [11] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [1] bis [10], wobei die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,57 oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 1,2 μm oder weniger beträgt“. Ferner kann das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung sein [12] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [11], wobei die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,59 oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 0,7 μm oder weniger ist“. In diesen Fällen kann durch eine weitere Verdünnung der lichtabsorbierenden Schicht die Geschwindigkeit erhöht werden.

[0017] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [13] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [1] bis [12], wobei das Substrat einen halbisolierenden Halbleiter enthält“. In diesem Fall kann durch die Bereitstellung eines Pads der ersten Elektrode auf dem Substrat die Kapazität des Pads reduziert werden, was eine Erhöhung der Geschwindigkeit ermöglicht.

[0018] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [14] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem der Punkte [1] bis [13], wobei das Substrat einen Isolator oder einen halbisolierenden Halbleiter enthält und der Halbleiter-Laminatabschnitt mit dem Substrat verbunden ist“. In diesem Fall ist es durch die Herstellung des Halbleiter-Lichtempfangselements durch getrennte Konstruktion und direktes Verbinden des Substrats und des Halbleiter-Laminatabschnitts möglich, den Durchmesser zu erhöhen und die Kosten zu senken, indem optische Komponenten unter Verwendung kostengünstiger Materialien hergestellt werden.

[0019] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [15] „ein Halbleiter-Lichtempfangselement zum Empfangen von einfallendem Licht in einem Wellenlängenband von mindestens einem von einem 1,3 μm -Band, einem 1,55 μm -Band und einem 1.6 μm -Band und zum Erzeugen eines elektrischen Signals als Reaktion auf das

einfallende Licht, wobei das Halbleiter-Lichtempfangselement ein Substrat, einen auf dem Substrat ausgebildeten Halbleiter-Laminatabschnitt, der eine Rückfläche auf der Substratseite, eine Vorderfläche auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite und eine sich von der Rückfläche zur Vorderfläche erstreckende Seitenfläche aufweist, und eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode, die elektrisch mit dem Halbleiter-Laminatabschnitt verbunden sind, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine lichtabsorbierende Schicht eines zweiten Leitfähigkeitstyps, die $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ enthält, eine Pufferschicht eines ersten Leitfähigkeitstyps, der sich von dem zweiten Leitfähigkeitstyp unterscheidet und zwischen dem Substrat und der lichtabsorbierenden Schicht vorgesehen ist, und einer vierten Halbleiterschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die sich auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet und mit der lichtabsorbierenden Schicht verbunden ist, wobei die erste Elektrode mit einem ersten Teil des ersten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der Substratseite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet, die zweite Elektrode mit einem zweiten Teil des zweiten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet, eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,55 oder mehr beträgt, eine Dicke der lichtabsorbierenden Schicht $1,8 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt, das Halbleiter-Lichtempfangselement von einem Seiteneinfallstyp ist, bei dem der Einfall des Lichts von der Seitenfläche empfangen wird, und eine Breite der lichtabsorbierenden Schicht entlang einer Einfallrichtung des Lichts in Bezug auf die Seitenfläche $10 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt“.

[0020] Das Halbleiter-Lichtempfangselement von [15] ist für Licht in Wellenlängenbändern für die optische Kommunikation bestimmt, wie z.B. ein $1,3 \mu\text{m}$ -Band (O-Band (Originalband)), ein $1,55 \mu\text{m}$ -Band (C-Band (konventionelles Band)) und ein $1,6 \mu\text{m}$ -Band (L-Band (Langwellenlängenband)). In diesem Halbleiter-Lichtempfangselement enthält die lichtabsorbierende Schicht, die auf dem Substrat angebracht ist, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Außerdem beträgt die In-Zusammensetzung x der lichtabsorbierenden Schicht 0,55 oder mehr (und weniger als 1). Wenn die In-Zusammensetzung x von $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ in der lichtabsorbierenden Schicht beispielsweise auf 0,55 oder mehr eingestellt ist, wird der Absorptionskoeffizient verbessert (der Absorptionskoeffizient wird um etwa das Zweifache verbessert, indem die Zusammensetzung x auf 0,62 im $1,55 \mu\text{m}$ -Band eingestellt wird), verglichen mit dem Fall, in dem die In-Zusammensetzung x 0,53 beträgt. Selbst wenn die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht auf ca. $1,8 \mu\text{m}$ oder weniger reduziert wird, kann daher eine Abnahme der Empfindlichkeit

vermieden werden. Darüber hinaus kann aus einem ähnlichen Grund die Breite der lichtabsorbierenden Schicht in der Lichteinfallrichtung auf $10 \mu\text{m}$ oder weniger eingestellt werden, und die Geschwindigkeit kann durch Verringerung der Kapazität der lichtabsorbierenden Schicht weiter erhöht werden.

[0021] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [16] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [15], wobei die Pufferschicht eine Zugentlastungsschicht mit einer Gitterkonstante zwischen einer Gitterkonstante des Substrats und einer Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht enthält“. In diesem Fall wird die Kristallinität des Halbleiter-Laminatabschnitts verbessert und wird ein Anstieg des Dunkelstroms unterdrückt.

[0022] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [17] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [16], wobei die Pufferschicht eine Vielzahl von Zugentlastungsschichten enthält, die so angeordnet sind, dass sich die Gitterkonstante der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht schrittweise vom Substrat zur lichtabsorbierenden Schicht hin nähert“. Alternativ kann das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung sein [18] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [16], wobei die Pufferschicht die Zugentlastungsschicht enthält, deren Gitterkonstante sich vom Substrat in Richtung der lichtabsorbierenden Schichten kontinuierlich ändert, um sich der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht anzunähern“. In diesen Fällen wird die Kristallinität des Halbleiter-Laminatabschnitts zuverlässig verbessert und ein Anstieg des Dunkelstroms unterdrückt.

[0023] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [19] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [15] bis [18], wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine Diffusionssperrschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der lichtabsorbierenden Schicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InAsP oder InGaAsP enthält, und eine Kontaktschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der Diffusionssperrschicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InGaAs enthält, wobei die vierte Halbleiterschicht die Kontaktschicht und die Diffusionssperrschicht umfasst und der zweite Teil, mit dem die zweite Elektrode verbunden ist, eine Vorderfläche der Kontaktschicht ist“. In diesem Fall ist es möglich, den Kontaktwiderstand der zweiten Elektrode und den Reihenwiderstand zu verringern. Auf diese Weise ist es möglich, eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens zu verhindern. Durch die Verwendung eines Materials

mit einem Brechungsindex, der niedriger ist als der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht, für die Diffusionssperrschicht wird es außerdem möglich, das Licht in der lichtabsorbierenden Schicht in geeigneter Weise einzuschließen.

[0024] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [20], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [15] bis [19], wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine Elektronentransitschicht des ersten Leitfähigkeitstyps enthält, die zwischen der Pufferschicht und der lichtabsorbierenden Schicht vorgesehen ist, und eine Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht niedriger ist als eine Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht“. Indem die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht auf diese Weise relativ gesenkt wird, wird die Elektronentransitschicht verarmt, wenn eine Vorspannung angelegt wird, und somit wird die Geschwindigkeit aufgrund einer Abnahme der Kapazität weiter erhöht.

[0025] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [21], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [19], wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine sechste Halbleiterschicht enthält, die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der diffusionssperrenden Schicht vorgesehen ist und eine Bandlücke zwischen einer Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht und einer Bandlücke der diffusionssperrenden Schicht aufweist“. In diesem Fall kann durch die Bereitstellung einer Schicht mit einer Bandlücke zwischen derjenigen der lichtabsorbierenden Schicht und derjenigen der Deckschicht zwischen den Schichten eine Barriere zwischen den jeweiligen Schichten verringert und eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens unterdrückt werden.

[0026] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [22], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [15] bis [21], wobei mindestens eine Schicht der Pufferschicht durch Dotierung mit Fe halbisoliert ist“. In diesem Fall ist es möglich, die Kapazität zu verringern.

[0027] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [23], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [20], wobei die Elektronentransitschicht eine geringere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der lichtabsorbierenden Schicht aufweist, eine größere Bandlücke als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht hat und zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der Lichtwellenleiterschicht vorgesehen ist“. In diesem Fall kann die Kapazität durch eine relative Verringerung der Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht reduziert werden. Durch die Verringerung der Verunreinigungskonzentration in der Elektronentransit-

schicht ist es außerdem möglich, die Verarmung zu erleichtern und eine Barriere gegenüber der lichtabsorbierenden Schicht zu reduzieren.

[0028] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann [24] „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß [20] oder [23] sein, wobei eine Dicke der Elektronentransitschicht 0,3 μm oder mehr und 3,0 μm oder weniger beträgt und die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht $2,0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger beträgt“. In diesem Fall kann durch Festlegen einer Obergrenze für die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht wie oben beschrieben die Elektronentransitschicht in geeigneter Weise verarmt werden, wenn eine Vorspannung angelegt wird. Durch die Einstellung der Dicke der Elektronentransitschicht im oben genannten Bereich ist es außerdem möglich, eine Abnahme der Ansprechgeschwindigkeit und einen Anstieg des Reihenwiderstands des Halbleiter-Lichtempfangselements zu unterdrücken.

[0029] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [25], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [15] bis [24], wobei die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,57 oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 0,3 μm oder weniger beträgt“. Ferner kann das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung sein [26], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem der Punkte [15] bis [25], wobei die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,59 oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 0,1 μm oder weniger beträgt“. In diesen Fällen kann durch eine weitere Verdünnung der lichtabsorbierenden Schicht die Geschwindigkeit erhöht werden.

[0030] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [27], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [15] bis [26], wobei das Substrat einen halbisolierenden Halbleiter enthält“. In diesem Fall kann durch die Bereitstellung eines Pads der ersten Elektrode auf dem Substrat die Kapazität des Pads reduziert werden, was eine Erhöhung der Geschwindigkeit ermöglicht.

[0031] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann sein [28], „das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einem von [15] bis [27], wobei das Substrat einen Isolator oder einen halbisolierenden Halbleiter enthält und der Halbleiter-Laminatabschnitt mit dem Substrat verbunden ist“. In diesem Fall ist es durch die Herstellung des lichtempfangenden Halbleiterelements durch getrennte Konstruktion und direktes Verbinden des Substrats und des Halbleiter-Laminatabschnitts

möglich, den Durchmesser zu erhöhen und die Kosten zu senken, indem optische Komponenten unter Verwendung kostengünstiger Materialien hergestellt werden.

[0032] Das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung kann [29] „ein Halbleiter-Lichtempfangselement zum Empfangen von einfallendem Licht in einem Wellenlängenband von mindestens einem von einem 1,3 μm -Band, einem 1,55 μm -Band und einem 1,6 μm -Band und zum Erzeugen eines elektrischen Signals als Reaktion auf einfallendes Licht, wobei das Halbleiter-Lichtempfangselement ein Substrat mit einer Hauptoberfläche, die einen ersten Bereich, einen zweiten Bereich und einen dritten Bereich enthält, die in der Reihenfolge entlang einer ersten Richtung angeordnet sind, einen Halbleiter-Laminatabschnitt, der auf dem zweiten Bereich ausgebildet ist und eine Rückfläche auf der Substratseite, eine Vorderfläche auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite und eine seitliche Oberfläche, die sich von der Rückfläche in Richtung der Vorderfläche erstreckt, enthält, einen ersten Halbleiterabschnitt eines ersten Leitfähigkeitstyps, der auf dem ersten Bereich ausgebildet ist einen zweiten Halbleiterabschnitt eines zweiten Leitfähigkeitstyps, der sich von dem ersten Leitfähigkeitstyp unterscheidet und auf dem dritten Bereich ausgebildet ist, eine erste Elektrode, die elektrisch mit dem ersten Halbleiterabschnitt verbunden ist, eine zweite Elektrode, die elektrisch mit dem zweiten Halbleiterabschnitt verbunden ist, und einen optischen Wellenleiter, der auf dem zweiten Bereich ausgebildet ist, sich entlang der Hauptoberfläche und entlang einer zweiten Richtung, die die erste Richtung schneidet, in Richtung der Seitenoberfläche erstreckt und mit der Seitenoberfläche gekoppelt ist, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine lichtabsorbierende Schicht enthält, die $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ enthält, eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,55 oder mehr beträgt, eine Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 1,8 μm oder weniger beträgt, das Halbleiter-Lichtempfangselement von einem Seiteneinfallstyp ist, bei dem der Einfall des Lichts von der Seitenfläche über den Lichtwellenleiter empfangen wird, und eine Breite der lichtabsorbierenden Schicht entlang einer Einfallrichtung des Lichts in Bezug auf die Seitenfläche 10 μm oder weniger beträgt“.

[0033] Das Halbleiter-Lichtempfangselement von [29] ist für Licht in Wellenlängenbändern für die optische Kommunikation bestimmt, wie z.B. ein 1,3 μm -Band (O-Band (Originalband)), ein 1,55 μm -Band (C-Band (konventionelles Band)) und ein 1,6 μm -Band (L-Band (Langwellenlängenband)). In diesem Halbleiter-Lichtempfangselement enthält die lichtabsorbierende Schicht, die auf dem Substrat angebracht ist, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Außerdem beträgt die In-Zusammensetzung x der lichtabsorbierenden Schicht 0,55 oder

mehr (und weniger als 1). Wenn die In-Zusammensetzung x von $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ in der lichtabsorbierenden Schicht beispielsweise auf 0,55 oder mehr eingestellt ist, wird der Absorptionskoeffizient verbessert (der Absorptionskoeffizient wird um etwa das Zweifache verbessert, indem die Zusammensetzung x auf 0,62 im 1,55 μm -Band eingestellt wird), verglichen mit dem Fall, in dem die In-Zusammensetzung x 0,53 beträgt. Selbst wenn die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht auf ca. 1,8 μm oder weniger reduziert wird, kann daher eine Abnahme der Empfindlichkeit vermieden werden. Darüber hinaus kann aus einem ähnlichen Grund die Breite der lichtabsorbierenden Schicht in der Lichteinfallrichtung auf 10 μm oder weniger eingestellt werden, und die Geschwindigkeit kann durch Verringerung der Kapazität der lichtabsorbierenden Schicht weiter erhöht werden.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0034] Gemäß der Offenbarung ist es möglich, ein Halbleiter-Lichtempfangselement bereitzustellen, das die Geschwindigkeit erhöhen kann.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist eine schematische Draufsicht, die ein Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 2 ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie II-II von **Fig. 1**.

Fig. 3 ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie III-III von **Fig. 1**.

Fig. 4 ist ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einer Zusammensetzung und einem Absorptionskoeffizienten einer lichtabsorbierenden Schicht beschreibt.

Fig. 5 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer zweiten Ausführungsform.

Fig. 6 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer dritten Ausführungsform.

Fig. 7 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer vierten Ausführungsform.

Fig. 8 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer fünften Ausführungsform.

Fig. 9 ist eine schematische Draufsicht auf ein Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einer sechsten Ausführungsform.

Fig. 10 ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie X-X von **Fig. 9**.

Fig. 11 ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie XI-XI von **Fig. 9**.

Fig. 12 ist eine Querschnittsansicht, die ein modifiziertes Beispiel des in **Fig. 11** illustrierten Halbleiter-Lichtempfangselements zeigt.

Fig. 13 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer siebten Ausführungsform.

Fig. 14 ist eine schematische Querschnittsansicht des Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß der siebten Ausführungsform.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0035] Nachfolgend werden die Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im Einzelnen beschrieben. In jeder Zeichnung sind gleiche oder entsprechende Elemente mit den gleichen Bezugsziffern bezeichnet, und doppelte Beschreibungen können weggelassen werden.

[Erste Ausführungsform]

[0036] **Fig. 1** ist eine schematische Draufsicht, die ein Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt. **Fig. 2** ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie II-II von **Fig. 1**. **Fig. 3** ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie III-III von **Fig. 1**. Das in den **Fig. 1** bis **3** illustrierte Halbleiter-Lichtempfangselement ist für Licht in Wellenlängenbändern für die optische Kommunikation vorgesehen, wie z.B. ein 1,3 μm -Band (O-Band (Originalband)), ein 1,55 μm -Band (C-Band (konventionelles Band)) und ein 1,6 μm -Band (L-Band (Langwellenlängenband)). Mit anderen Worten empfängt das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 Licht in mindestens einem der oben genannten Wellenlängenbänder und erzeugt als Reaktion auf das einfallende Licht ein elektrisches Signal. Das 1,3 μm -Band umfasst beispielsweise einen Wellenlängenbereich von 1,26 μm oder mehr und 1,36 μm oder weniger. Das 1,55 μm -Band ist beispielsweise ein Wellenlängenbereich von 1,53 μm oder mehr und 1,565 μm oder weniger. Das 1,6 μm -Band ist zum Beispiel ein Wellenlängenbereich von mehr als 1,565 μm und 1,625 μm oder weniger. Außerdem ist Licht in einem Wellenlängenband für die Kommunikation Licht mit einer Spitze innerhalb eines Wellenlängenbereichs eines der Wellenlängenbänder (d.h. eine andere Wellenlänge als die Spitze kann außerhalb des Wellenlängenbereichs der Wellenlängenbänder liegen).

[0037] Das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 umfasst ein Substrat 10, einen Halbleiter-Laminatabschnitt 20, eine Elektrode 4 (zweite Elektrode) und ein Paar Elektroden 5 (erste Elektroden). Die Elektrode 4 umfasst einen Verbindungsabschnitt 4a, der mit dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 verbunden

ist, einen Kontaktflächenabschnitt 4b und einen Verbindungsabschnitt 4c, der den Verbindungsabschnitt 4a und den Kontaktflächenabschnitt 4b verbindet. Der Verbindungsabschnitt 4c ist vom Verbindungsabschnitt 4a in Richtung des Kontaktflächenabschnitts 4b breiter. Die Elektroden 5 umfassen jeweils einen Verbindungsabschnitt 5a, der mit dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 verbunden ist, einen Anschlussabschnitt 5b und einen Verbindungsabschnitt 5c, der den Verbindungsabschnitt 5a und den Anschlussabschnitt 5b verbindet. Der Verbindungsabschnitt 5c ist vom Verbindungsabschnitt 5a in Richtung des Kontaktflächenabschnitts 5b breiter.

[0038] Das Substrat 10 enthält einen halbisolierenden Halbleiter. Hier ist das Substrat 10 zum Beispiel ein halbisolierendes Halbleitersubstrat aus InP. Das Substrat 10 umfasst eine Vorderfläche (Hauptoberfläche) 10a und eine Rückfläche 10b auf der der Vorderfläche 10a gegenüberliegenden Seite. Ferner umfasst das Substrat 10 einen Bereich RA, einen Bereich RB und einen Bereich RC, die in der Reihenfolge entlang einer X-Achsenrichtung (erste Richtung) entlang der Vorderfläche 10a und der Rückfläche 10b angeordnet sind. Der Bereich RB ist ein Bereich zwischen dem Bereich RA und dem Bereich RC und ist ein Bereich, in dem der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 vorgesehen ist.

[0039] Wie oben beschrieben, wird der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 auf dem Bereich RB des Substrats 10 gebildet und ist als eine Halbleiter-Mesa ausgebildet, die von der Vorderfläche 10a vorsteht. Der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 umfasst eine Rückfläche 20b auf der Seite des Substrats 10, eine Vorderfläche 20a auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite und eine Seitenfläche 20s, die sich von der hinteren Fläche 20b in Richtung der Vorderfläche 20a erstreckt. Die Seitenfläche 20s verbindet die Rückfläche 20b und die Vorderfläche 20a miteinander. Der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 umfasst eine Pufferschicht 21, eine kapazitätsreduzierende Schicht 22, eine lichtabsorbierende Schicht 23, eine Deckschicht 24 (erste Halbleiterschicht) und eine Kontaktschicht 25 (erste Halbleiterschicht), die in dieser Reihenfolge von der Seite des Substrats 10 aus gestapelt sind. Die Vorderfläche 20a ist eine Vorderfläche der Kontaktschicht 25 auf der der lichtabsorbierenden Schicht 23 gegenüberliegenden Seite, und die Rückfläche 20b ist eine Vorderfläche der Pufferschicht 21 auf der der lichtabsorbierenden Schicht 23 gegenüberliegenden Seite und steht in Kontakt mit der Vorderfläche 10a des Substrats 10.

[0040] Die Pufferschicht 21 hat einen ersten Leitfähigkeitstyp (hier N-Typ, N⁺-Typ als Beispiel). Die Pufferschicht 21 ist über den Bereich RA und den Bereich RC mit dem Bereich RB in der Mitte angeordnet. Hier berührt der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 die Vorderfläche 10a des Substrats 10 an der Puf-

ferschicht 21. Die Schichten des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 mit Ausnahme der Pufferschicht 21 befinden sich auf dem Bereich RB. Das heißt, die Pufferschicht 21 hat einen Teil 21p, der aus den anderen Schichten des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 herausragt, wenn man sie aus einer Richtung betrachtet, die die Vorderfläche 10a schneidet, und ist mit der Elektrode 5 (Verbindungsabschnitt 5a) an dem Teil 21p verbunden.

[0041] Die Pufferschicht 21 umfasst eine erste Pufferschicht, eine zweite Pufferschicht und eine dritte Pufferschicht, die in dieser Reihenfolge von der Seite des Substrats 10 aus gestapelt sind. Die erste Pufferschicht besteht beispielsweise aus N^+-InP , die zweite Pufferschicht besteht aus $N^+-InAs_{0,05}P$ und die dritte Pufferschicht besteht aus $N^+-InAs_{0,10}P$. Die kapazitätsreduzierende Schicht 22 hat den ersten Leitfähigkeitstyp (hier N-Typ, z.B. N-Typ) und besteht z.B. aus $N-InAs_{0,15}P$.

[0042] Auf diese Weise fungieren die Pufferschicht 21 und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 als Zugentlastungsschichten mit einer Gitterkonstante zwischen der Gitterkonstante des Substrats 10 und der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht 23. Mit anderen Worten enthält der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 eine Vielzahl von Zugentlastungsschichten (Stufenschichten), die so vorgesehen sind, dass sich die Gitterkonstante der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht 23 schrittweise vom Substrat 10 zur lichtabsorbierenden Schicht 23 hin nähert. Die Dicke der Pufferschicht 21 beträgt z.B. $0,5 \mu m$ oder mehr und $5 \mu m$ oder weniger.

[0043] Darüber hinaus ist die kapazitätsreduzierende Schicht 22 auf der Seite der lichtabsorbierenden Schicht 23 der Pufferschicht 21 angeordnet und weist eine geringere Verunreinigungskonzentration auf als die Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21. Die lichtabsorbierende Schicht 23 hat den ersten Leitfähigkeitstyp (z.B. N-Typ). Die lichtabsorbierende Schicht 23 enthält $InGaAs$. Hier besteht die lichtabsorbierende Schicht 23 aus $N-In_xGa_{1-x}As$. Außerdem beträgt die In -Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 23 $0,55$ oder mehr (und weniger als 1). Die In -Zusammensetzung x kann beispielsweise $0,57$ oder mehr betragen und liegt hier bei $0,59$ oder mehr (z.B. $0,59$).

[0044] Ferner beträgt eine Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23 (eine Dicke entlang der Stapelrichtung (Z-Achsenrichtung) des Halbleiter-Laminatabschnitts 20) $0,6 \mu m$ oder mehr und $1,8 \mu m$ oder weniger. Als Beispiel kann die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23 $1,2 \mu m$ oder weniger betragen und ist hier $0,7 \mu m$ oder weniger (als Beispiel $0,7 \mu m$). Es ist zu beachten, dass die lichtabsorbierende Schicht 23 eine absorbierende Schicht aus einem

Mischkristall aus $InGaAs$ und Al, P, Sb, N oder einem anderen Material mit einer Bandlücke im Bereich von $0,72 eV$ oder weniger sein kann. Der Anteil von Al, P, Sb und N (oder einem anderen Material), der in $InGaAs$ eingemischt ist, kann beispielsweise auf 5% oder weniger oder 10% oder weniger festgelegt werden.

[0045] Hier hat die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine höhere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der lichtabsorbierenden Schicht 23. Beispielsweise beträgt die Verunreinigungskonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 etwa $2,0 \times 10^{14} cm^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} cm^{-3}$, und die Verunreinigungskonzentration der lichtabsorbierenden Schicht 23 beträgt etwa $1,0 \times 10^{14} cm^{-3}$ oder mehr und $1,0 \times 10^{16} cm^{-3}$ oder weniger. Darüber hinaus hat die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine größere Bandlücke als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht 23. Wenn die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht 23 wie oben beschrieben $0,72 eV$ oder weniger beträgt, kann die Bandlücke der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 in einem Bereich von mehr als $0,72 eV$ und $1,35 eV$ oder weniger liegen.

[0046] Auf diese Weise weist der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 eine kapazitätsreduzierende Schicht 22 auf, die zwischen der Pufferschicht 21 und der lichtabsorbierenden Schicht 23 angeordnet ist. Anforderungen an die kapazitätsreduzierende Schicht 22 sind, dass die Verunreinigungskonzentration höher ist als die der lichtabsorbierenden Schicht 23, wie oben beschrieben, und dass die kapazitätsreduzierende Schicht 22 erschöpft wird, wenn eine Vorspannung angelegt wird. Ein Grund dafür ist, dass, wie oben beschrieben, die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine größere Bandlücke als die lichtabsorbierende Schicht 23 hat und daher, wenn die Verunreinigungskonzentration niedrig ist, die Gefahr besteht, dass eine Barriere in einem Leitungsband entsteht, die die Bewegung von Ladungsträgern, die eine große Barriere haben, behindern kann, um eine geeignete Extraktion zu verhindern.

[0047] Da die kapazitätsreduzierende Schicht 22 bei Anlegen einer Vorspannung abgereichert werden muss, kann die Obergrenze der Verunreinigungskonzentration wie oben beschrieben auf etwa $3,0 \times 10^{16} cm^{-3}$ festgelegt werden. Außerdem sollte die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine Zusammensetzung aufweisen, die kein einfallendes Licht absorbiert (d.h. die Bandlücke sollte größer sein als die der lichtabsorbierenden Schicht 23). Wenn die kapazitätsreduzierende Schicht 22 einfallendes Licht absorbiert, werden in der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 Ladungsträger erzeugt. Die Ladungsträger werden als Signale aus der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 über die lichtabsorbierende Schicht 23 extrahiert

und werden daher zu langsamen Ladungsträgern, die das Ansprechverhalten beeinträchtigen können.

[0048] Mit anderen Worten ist es durch die Einstellung eines Verhältnisses zwischen der Pufferschicht 21, der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 und der lichtabsorbierenden Schicht 23, wie oben beschrieben, möglich, die kapazitätsreduzierende Schicht 22 als eine Schicht wirken zu lassen, die die Kapazität verringern kann, ohne die Trägerantwort zu verringern. Da die kapazitätsreduzierende Schicht 22 wirksam ist, wenn sie bereitgestellt wird, ist ihre Dicke nicht besonders begrenzt, sondern kann auf 0,3 μm oder mehr und 3 μm oder weniger als Beispiel festgelegt werden.

[0049] Es ist zu beachten, dass durch die Bereitstellung einer Halbleiterschicht des P-Typs zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und der unten beschriebenen Deckschicht 24 die Halbleiterschicht als kapazitätsreduzierende Schicht verwendet werden kann. Da jedoch eine Halbleiterschicht des N-Typs einfacher herzustellen ist als eine Halbleiterschicht des P-Typs und Elektronen im Vergleich zur Ladungsträgergeschwindigkeit in einer Schicht des P-Typs eine größere Mobilität aufweisen, wird es als effektiver angesehen, eine kapazitätsreduzierende Schicht des N-Typs direkt unter der lichtabsorbierenden Schicht 23 zu bilden (die mit der lichtabsorbierenden Schicht 23 zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und der Pufferschicht 21 in Kontakt zu stehen hat).

[0050] Weiterhin ist die lichtabsorbierende Schicht 23 in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 eine einzige Schicht. Dass die lichtabsorbierende Schicht 23 eine einzelne Schicht ist, bedeutet, dass die lichtabsorbierende Schicht 23 keine gestapelte Struktur aufweist, die durch Stapeln von zwei oder mehr Schichten mit unterschiedlichen Zusammensetzungen oder Eigenschaften gebildet wird. Genauer gesagt bedeutet die Tatsache, dass die lichtabsorbierende Schicht 23 eine einzelne Schicht ist, dass die lichtabsorbierende Schicht 23 beispielsweise keine Übergitterstruktur aufweist, die durch wiederholtes Stapeln einer Vielzahl von Schichten mit unterschiedlichen Zusammensetzungen gebildet wird.

[0051] Die Deckschicht 24 hat einen zweiten Leitfähigkeitstyp (hier P-Typ, z.B. P⁺-Typ), der sich vom ersten Leitfähigkeitstyp unterscheidet. Die Deckschicht 24 enthält InAsP oder InGaAsP. Hier enthält die Deckschicht 24 InAsP. Die Deckschicht 24 besteht z.B. aus P⁺-InAs_{0,15}P. Die Dicke der Deckschicht 24 beträgt z.B. 0,05 μm oder mehr und 2,5 μm oder weniger.

[0052] Die Kontaktschicht 25 hat den zweiten Leitfähigkeitstyp (hier P-Typ, P⁺-Typ als Beispiel). Die

Kontaktschicht 25 enthält InGaAs. Die Kontaktschicht 25 besteht zum Beispiel aus P⁺-InGaAs. Die Dicke der Kontaktschicht 25 beträgt z.B. 0,025 μm oder mehr und 0,2 μm oder weniger. Auf diese Weise enthält der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 eine erste Halbleiterschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die sich auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23 befindet und mit der lichtabsorbierenden Schicht 23 verbunden ist. Die erste Halbleiterschicht umfasst die Deckschicht 24 und die Kontaktschicht 25.

[0053] Man beachte, dass im obigen Beispiel der N⁺-Typ bedeutet, dass die N-Typ-Verunreinigungskonzentration etwa $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr beträgt. N-Typ bedeutet, dass die N-Typ-Verunreinigungskonzentration etwa $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger beträgt, was im Vergleich zum N⁺-Typ relativ niedrig ist. Darüber hinaus bedeutet P⁺-Typ, dass die Verunreinigungskonzentration des P-Typs etwa $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr beträgt.

[0054] Das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 hat einen Schutzfilm (Passivierungsschicht) F. Der Schutzfilm F ist beispielsweise eine Isolierschicht. Ein Teil der Vorderfläche 20a (Oberseite) des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 und die Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20, die sich vom Umfang der Vorderfläche 20a zur Seite des Substrats 10 hin erstreckt, sind vom Schutzfilm F bedeckt. Andererseits ist der Rest der Vorderfläche 20a des Halbleiter-Laminatabschnitts 20, hier ein Teil der Vorderfläche der Kontaktschicht 25, durch eine Öffnung Fp im Schutzfilm F exponiert.

[0055] Ferner wird der Verbindungsabschnitt 4a der Elektrode 4 in dem Teil der Vorderfläche 20a gebildet, der vom Schutzfilm F exponiert ist, und es wird eine Verbindung zwischen der Elektrode 4 und dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 (Kontaktschicht 25) gebildet. Das heißt, die Elektrode 4 ist mit einem zweiten Teil des zweiten Leitfähigkeitstyps (hier die Vorderfläche der Kontaktschicht 25) verbunden, der sich auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats 10 in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23 in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 befindet. In der Zwischenzeit wird ein Teil der Vorderfläche des Teils 21p der Pufferschicht 21 von der Öffnung Fn des Schutzfilms freigelegt, der Verbindungsabschnitt 5a der Elektrode 5 wird in diesem freigelegten Teil gebildet, und eine Verbindung wird zwischen der Elektrode 5 und dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 (Pufferschicht 21) gebildet. Mit anderen Worten ist die Elektrode 5 mit einem ersten Teil des ersten Leitfähigkeitstyps (der Vorderfläche der Pufferschicht 21) verbunden, der sich auf der Seite des Substrats 10 in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23 in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 befindet.

[0056] Hier hat das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 einen Lichtempfangsabschnitt 2, der den oben erwähnten Halbleiter-Laminatabschnitt 20 enthält, und einen Wellenleiterabschnitt 3, der Licht in Richtung des Lichtempfangsabschnitts 2 weiterleitet. Der Wellenleiterabschnitt 3 umfasst die Pufferschicht 21 und die kapazitätsreduzierende Schicht 22, die auf der Vorderfläche 10a des Substrats 10 vorgesehen sind. Genauer gesagt sind die Pufferschicht 21 und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 jeweils so vorgesehen, dass sie sich außerhalb des lichtempfangenden Abschnitts 2 (Halbleiter-Laminatabschnitt 20) entlang einer Y-Achsenrichtung (eine zweite Richtung, die die erste Richtung schneidet) entlang der Vorderfläche 10a und der Rückfläche 10b des Substrats 10 erstrecken, und der Wellenleiterabschnitt 3 wird durch die Teile der Pufferschicht 21 und der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 gebildet, die sich zur Außenseite des lichtempfangenden Abschnitts 2 erstrecken.

[0057] Mit anderen Worten umfasst die Pufferschicht 21 einen Teil 21q, der in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 enthalten ist, und einen Teil 21r, der sich von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 zur Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 erstreckt, und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 umfasst einen Teil 22q, der in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 enthalten ist, und einen Teil 22r, der sich von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 zur Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 erstreckt. Ferner wird der Wellenleiterabschnitt 3 durch die Teile 21r und 22r gebildet. Eine Vorderfläche des Teils 22r auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite ist vom Schutzfilm F bedeckt.

[0058] Das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 ist vom Seiteneinfallstyp, bei dem Licht L, das durch die Pufferschicht 21 und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 im Wellenleiterteil 3 geführt wird, von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatanteils 20 empfangen wird. Daher sind in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 die Pufferschicht 21 und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 auch Lichtwellenleiterschichten des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen dem Substrat 10 und der lichtabsorbierenden Schicht 23 vorgesehen sind. Die Pufferschicht 21, die kapazitätsreduzierende Schicht 22 und die lichtabsorbierende Schicht 23 haben in dieser Reihenfolge ansteigende Brechungsindizes.

[0059] Daher fällt das Licht L, das sich durch den Wellenleiterabschnitt 3 ausbreitet, von der Seitenfläche 20s des Halbleiterlaminatabschnitts 20 auf den Halbleiterlaminatabschnitt 20, während es hauptsächlich in der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 verteilt wird, von der Pufferschicht 21 und der kapazitätsreduzierenden Schicht 22-Seite zur lichtabsorbierenden Schicht 23 übergeht und in der lichtabsor-

bierenden Schicht 23 absorbiert wird. Mit anderen Worten ist das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 vom Typ mit seitlichem Einfall. Das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht L erreicht die lichtabsorbierende Schicht 23 über die Lichtwellenleiterschichten. Die Breite der lichtabsorbierenden Schicht 23 entlang der Einfallsrichtung des Lichts L auf die Seitenfläche 20s (Richtung der Y-Achse) beträgt zum Beispiel 2 μm oder mehr und 10 μm oder weniger. Es ist zu beachten, dass es möglich ist, das Licht L in geeigneter Weise innerhalb der lichtabsorbierenden Schicht 23 zu begrenzen, indem der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht 23 niedriger als der Brechungsindex der Deckschicht 24 ist. Zusätzlich kann der Brechungsindex des Substrats 10 niedriger als der Brechungsindex der Pufferschicht 21 sein, aber kann auch höher als der Brechungsindex der Pufferschicht 21.

[0060] Wie oben beschrieben, ist das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 für Licht in Wellenlängenbändern bestimmt, die für die optische Kommunikation verwendet werden, wie z.B. das 1,3 μm -Band, das 1,55 μm -Band und das 1,6 μm -Band. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 enthält die lichtabsorbierende Schicht 23 auf dem Substrat 10 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Außerdem beträgt die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 23 0,55 oder mehr (und weniger als 1). Auf diese Weise wird, wenn die In-Zusammensetzung x von $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ in der lichtabsorbierenden Schicht 23 auf 0,55 oder mehr (Diagramm G2 von Fig. 4) eingestellt ist, zum Beispiel ein Absorptionskoeffizient verbessert (verbessert um etwa das Zweifache im 1,55 μm -Band in einem Beispiel von Fig. 4) im Vergleich zu dem Fall, in dem die In-Zusammensetzung x, die durch das Diagramm G1 von Fig. 4 angezeigt wird, 0,53 ist. Es ist zu beachten, dass das Diagramm G0 in Fig. 4 den Fall anzeigt, in dem eine lichtabsorbierende Schicht aus InGaAsP verwendet wird.

[0061] Daher kann selbst dann, wenn die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23 auf etwa 1,8 μm oder weniger reduziert wird, eine Abnahme der Empfindlichkeit vermieden werden. Mit anderen Worten sind höhere Geschwindigkeiten möglich. Auch wenn das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 vom Seiteneinfallstyp ist, bei dem Licht von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatanteils 20 auf den Halbleiter-Laminatteil 20 einfällt, erreicht das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht die lichtabsorbierende Schicht 23 über die Lichtwellenleiterschichten (zumindest die kapazitätsreduzierende Schicht 22) auf der Seite des Substrats 10 der lichtabsorbierenden Schicht 23. Mit anderen Worten fällt im Halbleiter-Lichtempfangselement 1 das Licht zumindest schräg zur Richtung der Y-Achse ein, die sich mit der Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23 schneidet. Auf diese Weise vergrößert sich der Bereich, in dem das Licht in der lichtabsorbierenden Schicht 23

absorbiert wird, im Vergleich zu dem Fall, in dem das Licht direkt in Richtung der Y-Achse von einer Endfläche der lichtabsorbierenden Schicht einfällt. Infolgedessen wird eine Verschlechterung von Eigenschaften wie Frequenzcharakteristik und Linearität unterdrückt, ohne dass es zu einem lokalen Anstieg der Phototrägerdichte kommt. Daher ist es mit dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 möglich, die Geschwindigkeit zu erhöhen und gleichzeitig eine Verschlechterung der Eigenschaften zu unterdrücken. Darüber hinaus ist es mit dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 möglich, die Breite der lichtabsorbierenden Schicht 23 auf 10 µm oder weniger in der Lichteinfallrichtung einzustellen, während eine Abnahme der Empfindlichkeit vermieden wird, und es ist möglich, die Kapazität der lichtabsorbierenden Schicht 23 zu verringern, um die Geschwindigkeit weiter zu erhöhen.

[0062] Darüber hinaus enthält das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 die Pufferschicht 21 des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen dem Substrat 10 und der lichtabsorbierenden Schicht 23 vorgesehen ist. Durch Erhöhung der Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21 ist es daher möglich, die Pufferschicht 21 in geeigneter Weise zur Herstellung eines Kontakts mit der Elektrode 5 zu verwenden. Darüber hinaus kann durch die Bereitstellung der Pufferschicht 21 unter der lichtabsorbierenden Schicht 23 eine Verschlechterung der Reaktion unterdrückt werden.

[0063] Darüber hinaus enthält die Pufferschicht 21 in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 die Zugentlastungsschicht (erste bis dritte Pufferschicht) mit einer Gitterkonstante zwischen der Gitterkonstante des Substrats 10 und der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht 23. Aus diesem Grund wird die Kristallinität des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 verbessert, und ein Anstieg des Dunkelstroms wird unterdrückt.

[0064] Darüber hinaus enthält die Pufferschicht 21 in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 eine Vielzahl von Zugentlastungsschichten (erste bis dritte Pufferschicht), die so vorgesehen sind, dass sich die Gitterkonstante der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht 23 schrittweise vom Substrat 10 in Richtung der lichtabsorbierenden Schicht 23 annähert. Aus diesem Grund wird die Kristallinität des Halbleiterschichtteils zuverlässig verbessert und ein Anstieg des Dunkelstroms unterdrückt.

[0065] Darüber hinaus enthält der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 die Deckschicht 24 des zweiten Leitfähigkeitstyps (erste Halbleiterschicht), die auf der lichtabsorbierenden Schicht 23 auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die licht-

absorbierende Schicht 23 vorgesehen ist und InAsP enthält, und die Kontaktschicht 25 des zweiten Leitfähigkeitstyps (erste Halbleiterschicht), die auf der Deckschicht 24 auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23 vorgesehen ist und InGaAs enthält. Ein zweiter Teil, mit dem die Elektrode 4 verbunden ist, ist die Vorderfläche der Kontaktschicht 25. Aus diesem Grund ist es möglich, den Kontaktwiderstand der Elektrode 4 und den Reihenwiderstand zu verringern. Auf diese Weise ist es möglich, eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens zu verhindern. Durch die Verwendung eines Materials mit einem Brechungsindex, der niedriger ist als der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht 23 für die Deckschicht 24, ist es außerdem möglich, Licht in der lichtabsorbierenden Schicht 23 in geeigneter Weise einzuschließen.

[0066] Desweiteren enthält in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 die kapazitätsreduzierende Schicht 22 des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen dem Substrat 10 (Pufferschicht 21) und der lichtabsorbierenden Schicht 23 angeordnet ist und eine geringere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21 aufweist. Durch die Bereitstellung der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 mit einer relativ niedrigen Verunreinigungskonzentration wird auf diese Weise die kapazitätsreduzierende Schicht 22 erschöpft, wenn eine Vorspannung angelegt wird, und somit wird die Geschwindigkeit aufgrund einer Abnahme der Kapazität weiter erhöht.

[0067] Darüber hinaus hat die kapazitätsreduzierende Schicht 22 in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 eine höhere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der lichtabsorbierenden Schicht 23, weist eine größere Bandlücke als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht 23 auf und ist zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und der Pufferschicht 21 vorgesehen. Wie oben beschrieben, ist die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine Schicht, die eine relativ niedrige Verunreinigungskonzentration aufweist und zur Verringerung der Kapazität beiträgt. Eine einfache Verringerung der Verunreinigungskonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 kann jedoch die Barriere zwischen den Schichten erhöhen, was zu einer Verschlechterung des Ansprechverhaltens führen kann. Wird andererseits die Verunreinigungskonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 erhöht, dehnt sich die Verarmungsschicht nicht aus, so dass es schwierig ist, die Kapazität ausreichend zu verringern.

[0068] Wenn die Verunreinigungskonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 verringert wird und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine grö-

ßere Bandlücke als die lichtabsorbierende Schicht 23 aufweist, werden daher, wie oben beschrieben, Lichtabsorption in der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 und Erzeugung von Trägern in der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 aufgrund der Lichtabsorption unterdrückt und die Verschlechterung des Ansprechverhaltens wird unterdrückt. Da die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine größere Bandlücke als die lichtabsorbierende Schicht 23 aufweist, während die kapazitätsreduzierende Schicht 22 eine höhere Verunreinigungskonzentration als die lichtabsorbierende Schicht 23 aufweist, wird die Barriere in der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 reduziert.

[0069] Darüber hinaus beträgt in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 die Dicke der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 0,3 µm oder mehr und 3,0 µm oder weniger, und die Verunreinigungskonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 beträgt $2,0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger. Durch Festlegen einer Obergrenze für die Verunreinigungskonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht 22, wie oben beschrieben, kann die kapazitätsreduzierende Schicht 22 daher in geeigneter Weise verarmt werden, wenn eine Vorspannung angelegt wird. Darüber hinaus ist es durch die Einstellung der Dicke der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 in dem oben genannten Bereich möglich, eine Abnahme der Ansprechgeschwindigkeit und einen Anstieg des Reihenwiderstands des Halbleiter-Lichtempfangselements 1 zu unterdrücken.

[0070] Außerdem ist in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 23 0,57 oder mehr, und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23 ist 1,2 µm oder weniger. Darüber hinaus beträgt die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 23 in dem lichtempfangenden Halbleiterelement 1 0,59 oder mehr, und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23 beträgt 0,7 µm oder weniger. Daher kann die Geschwindigkeit durch eine weitere Verdünnung der lichtabsorbierenden Schicht 23 erhöht werden.

[0071] Darüber hinaus enthält das Substrat 10 in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 den halbisolierenden Halbleiter. Daher kann durch die Bereitstellung des Kontaktflächenabschnitts 5b der Elektrode 5 auf dem Substrat 10 die Kontaktflächenkapazität reduziert werden, was eine Erhöhung der Geschwindigkeit ermöglicht.

[0072] In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 ist die Pufferschicht 21 zumindest in einem Teil der Lichtwellenleiterschicht enthalten, kann aber auch eine mit Fe dotierte, halbisierte Schicht umfassen. In diesem Fall ist es möglich, die Kapazität zu verringern.

[0073] Desweiteren kann in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 eine dritte Halbleiterschicht enthalten, die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und der Deckschicht 24 vorgesehen ist und einer Bandlücke zwischen einer Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht 23 und einer Bandlücke der Deckschicht 24 aufweist. In diesem Fall kann durch die Bereitstellung einer Schicht mit einer Bandlücke zwischen derjenigen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und derjenigen der Deckschicht 24 zwischen den Schichten eine Barriere zwischen den jeweiligen Schichten verringert und eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens unterdrückt werden.

[0074] Im Folgenden sind Beispiele für Kombinationen der einzelnen Wellenlängenbänder, der Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23 und der Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 23 aufgeführt. Es ist zu beachten, dass zum Beispiel die folgenden (5) usw. nicht nur für das C-Band, sondern auch für das O-Band und das L-Band ähnlich konfiguriert werden können.

[0075] (1) C-Band.

Empfindlichkeit: 0,86 A/W oder mehr.

Grenzfrequenz: 20 GHz oder mehr (für 28 GB, usw.).

Dicke der Absorptionsschicht: 1,5 µm.

In der Zusammensetzung x: x = 0,55.

[0076] (2) C-Band.

Empfindlichkeit: 0,90 A/W oder mehr.

Grenzfrequenz: 20 GHz oder mehr (für hochempfindliche 28-GB-Produkte).

Dicke der Absorptionsschicht: 1,5 µm.

In der Zusammensetzung x: x = 0,57.

[0077] (3) C-Band.

Empfindlichkeit: 0,80 A/W oder mehr.

Grenzfrequenz: 30 GHz oder mehr (für 56 GB, usw.).

Dicke der Absorptionsschicht: 1,2 µm.

In der Zusammensetzung x: x = 0,57.

[0078] (4) C-Band.

Empfindlichkeit 0,85 A/W oder mehr.

Grenzfrequenz: 30 GHz oder mehr (für hochempfindliche 56-GB-Produkte).

Dicke der Absorptionsschicht: 1,2 µm.

In der Zusammensetzung x: x = 0,59.

[0079] (5) C-Band.

Empfindlichkeit 0,7 A/W oder mehr.

Grenzfrequenz: 45 GHz oder mehr (für 96 GB, usw.).

Dicke der Absorptionsschicht: 0,7 μm .

In der Zusammensetzung x: $x = 0,59$.

[0080] (6) C-Band.

Empfindlichkeit 0,90 A/W oder mehr.

Grenzfrequenz: 16 GHz oder mehr (für 25 GB, usw.).

Dicke der Absorptionsschicht: 1,8 μm .

In der Zusammensetzung x: $x = 0,55$.

[0081] (7) C-Band.

Empfindlichkeit 0,93 A/W oder mehr.

Grenzfrequenz: 16 GHz oder mehr (für 25 GB, usw.).

Dicke der Absorptionsschicht: 1,8 μm .

In der Zusammensetzung x: $x = 0,57$.

[Zweite Ausführungsform]

[0082] Fig. 5 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer zweiten Ausführungsform. Wie in Fig. 5 illustriert, unterscheidet sich ein Halbleiter-Lichtempfangselement 1A von dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 gemäß der ersten Ausführungsform dadurch, dass ein Halbleiter-Laminatabschnitt 20A anstelle des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 enthalten ist. Der Halbleiter-Laminatabschnitt 20A enthält zusätzlich zu den jeweiligen Schichten des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 eine Lichtwellenleiterschicht 27A. Die Lichtwellenleiterschicht 27A ist zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und dem Substrat 10, genauer gesagt zwischen der Pufferschicht 21 und dem Substrat 10, angeordnet.

[0083] Die Lichtwellenleiterschicht 27A ist in Kontakt mit der Vorderfläche 10a des Substrats 10. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1A steigt der Brechungsindex in der Reihenfolge der Lichtwellenleiterschicht 27A, der Pufferschicht 21, der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 und der lichtabsorbierenden Schicht 23. Die Lichtwellenleiterschicht 27A enthält beispielsweise InGaAsP. Die Lichtwellenleiterschicht 27A kann aus einem Material bestehen, das keinen Dotierstoff enthält (z.B. ein nicht dotiertes Material), um den optischen Verlust zu verringern. Alternativ kann die Lichtwellenleiterschicht 27A aus einem ähnlichen Grund aus einem isolierenden Material hergestellt werden. Es ist zu beachten, dass der Brechungsindex des Substrats

10 niedriger als der der Lichtwellenleiterschicht 27A und höher als der der Lichtwellenleiterschicht 27A sein kann.

[0084] Die Lichtwellenleiterschicht 27A umfasst einen Teil 27q, der in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20A enthalten ist, und einen Teil 27r, der sich von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20A zur Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20A erstreckt. Eine Vorderfläche des Teils 27r auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite ist mit dem Schutzfilm F bedeckt. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1A wird der Wellenleiterabschnitt 3 durch das Teil 27r gebildet. Das Halbleiter-Lichtempfangselement 1A ist vom Seiteneinfallstyp, bei dem das Licht L, das durch die Lichtwellenleiterschicht 27A (Teil 27r) im Wellenleiterabschnitt 3 geführt wird, von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20A empfangen wird. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1A wird das Licht L, das sich durch den Wellenleiterabschnitt 3 (Lichtwellenleiterschicht 27A) ausbreitet, von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20A auf den Halbleiter-Laminatabschnitt 20A auftreffen, von der Seite der optischen Wellenleiterschicht 27A zur lichtabsorbierenden Schicht 23 übergehen und in der lichtabsorbierenden Schicht 23 absorbiert werden. Das heißt, das Halbleiter-Lichtempfangselement 1A ist vom Typ mit seitlichem Einfall. Das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht L erreicht die lichtabsorbierende Schicht 23 über die Lichtwellenleiterschicht 27A (sowie die Pufferschicht 21 und die kapazitätsreduzierende Schicht 22).

[0085] In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1A enden die Pufferschicht 21 und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 an der Seitenfläche 20s (die Endflächen der Pufferschicht 21 und der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 sind bündig mit der Endfläche der lichtabsorbierenden Schicht 23) und erstrecken sich nicht über die Seitenfläche 20s hinaus. In dem lichtempfangenden Halbleiterelement 1A enthält der Halbleiter-Laminatabschnitt 20A die Pufferschicht 21 (zweite Halbleiterschicht) des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen der optischen Wellenleiterschicht 27A und der lichtabsorbierenden Schicht 23 vorgesehen ist, und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 des ersten Leitfähigkeitstyps, die eine geringere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21 aufweist und zwischen der Pufferschicht 21 und der lichtabsorbierenden Schicht 23 vorgesehen ist. Die kapazitätsreduzierende Schicht 22 hat eine höhere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der lichtabsorbierenden Schicht 23, hat eine größere Bandlücke als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht 23 und ist zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und der Lichtwellenleiterschicht 27A vorgesehen.

[0086] Das oben beschriebene Halbleiter-Lichtempfangselement 1A kann auch ähnliche Effekte wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 erzielen. Insbesondere sind in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1A die Lichtwellenleiterschicht 27A, die für die Ausbreitung des Lichts zu dem Lichtempfangsabschnitt 2 verantwortlich ist, und die Pufferschicht 21 als separate Schichten konfiguriert. Daher ist es möglich, die Pufferschicht 21 in geeigneter Weise zur Bildung eines Kontakts mit der Elektrode 5 zu verwenden, indem die Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21 erhöht wird, ohne dass ein optischer Verlust aufgrund einer Erhöhung der Verunreinigungskonzentration der Lichtwellenleiterschicht 27A (aufgrund der Absorption freier Elektronen) entsteht.

[0087] Ferner enthält der Halbleiter-Laminatabschnitt 20A in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1A die Pufferschicht 21 (zweite Halbleiterschicht) des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen der optischen Wellenleiterschicht 27A und der lichtabsorbierenden Schicht 23 vorgesehen ist, und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 des ersten Leitfähigkeitstyps, die eine geringere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21 aufweist und zwischen der Pufferschicht 21 und der lichtabsorbierenden Schicht 23 vorgesehen ist. Durch die Bereitstellung der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 mit einer relativ niedrigen Verunreinigungskonzentration wird auf diese Weise die kapazitätsreduzierende Schicht 22 erschöpft, wenn eine Vorspannung angelegt wird, und somit wird die Geschwindigkeit aufgrund einer Abnahme der Kapazität weiter erhöht.

[Dritte Ausführungsform]

[0088] Fig. 6 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer dritten Ausführungsform. Wie in Fig. 6 illustriert, unterscheidet sich ein Halbleiter-Lichtempfangselement 1B von dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 gemäß der ersten Ausführungsform dadurch, dass ein Halbleiter-Laminatabschnitt 20B anstelle des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 enthalten ist. Der Halbleiter-Laminatabschnitt 20B unterscheidet sich von dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 dadurch, dass eine Elektronentransitschicht 22B anstelle der kapazitätsreduzierenden Schicht 22, eine lichtabsorbierende Schicht 23B anstelle der lichtabsorbierenden Schicht 23 und eine diffusionsperrende Schicht 24B anstelle der Deckschicht 24 enthalten sind.

[0089] Die lichtabsorbierende Schicht 23B enthält $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ und hat den zweiten Leitfähigkeitstyp (hier P-Typ, P⁺-Typ als Beispiel). Eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 23B beträgt 0,55 oder mehr (und weniger als 1). Die In-

Zusammensetzung x kann beispielsweise 0,57 oder mehr betragen und liegt hier bei 0,59 oder mehr (zum Beispiel 0,59). Außerdem beträgt die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23B 1,8 μm oder weniger. Die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23B kann beispielsweise 0,3 μm oder weniger betragen, hier 0,1 μm oder weniger. Die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23B kann zum Beispiel 0,02 μm oder mehr und 0,5 μm oder weniger betragen. Die Breite der lichtabsorbierenden Schicht 23B entlang der Einfallrichtung des Lichts L auf die Seitenfläche 20s (Y-Achsenrichtung) beträgt beispielsweise 2 μm oder mehr und 10 μm oder weniger.

[0090] Die Elektronentransitschicht 22B befindet sich zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23B und der Pufferschicht 21 und hat den ersten Leitfähigkeitstyp (hier N-Typ, N-Typ als Beispiel). Die Elektronentransitschicht 22B besteht z.B. aus N-InAs_{0,15}P. Die Elektronentransitschicht 22B hat eine geringere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21. Die Dicke der Elektronentransitschicht 22B beträgt zum Beispiel 0,1 μm oder mehr und 3,0 μm oder weniger und kann 0,3 μm oder mehr und 3,0 μm oder weniger betragen. Darüber hinaus beträgt die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht 22B ungefähr $2,0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger.

[0091] Die Diffusionssperrschicht 24B hat den zweiten Leitfähigkeitstyp (hier P-Typ, P⁺-Typ als Beispiel). Die diffusionsperrende Schicht 24B enthält InAsP oder InGaAsP. Hier enthält die diffusionsperrende Schicht 24B InAsP. Die Diffusionssperrschicht 24B besteht zum Beispiel aus P⁺-InAs_{0,15}P. Die Dicke der Diffusionssperrschicht 24B beträgt z.B. 0,05 μm oder mehr und 2,5 μm oder weniger. Auf diese Weise enthält der Halbleiter-Laminatabschnitt 20B eine vierte Halbleiterschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die sich auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23B befindet und an die lichtabsorbierende Schicht 23B gebunden ist. Die vierte Halbleiterschicht umfasst die Diffusionssperrschicht 24B und die Kontaktschicht 25.

[0092] Man beachte, dass im Halbleiter-Lichtempfangselement 1B, ähnlich wie bei der Pufferschicht 21 und der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 des Halbleiter-Lichtempfangselements 1, die Pufferschicht 21 und die Elektronentransitschicht 22B außerhalb des Halbleiter-Laminatabschnitts 20B verlängert sind, um den Wellenleiterabschnitt 3 zu bilden. Mit anderen Worten ist das Halbleiter-Lichtempfangselement 1B vom Seiteneinfallstyp. Im Halbleiter-Lichtempfangselement 1B sind die Pufferschicht 21 und die Elektronentransitschicht 22B Lichtwellenleiterschichten des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen dem Substrat 10 und der lichtab-

sorbierenden Schicht 23B angeordnet sind. Im Halbleiter-Lichtempfangselement 1B erreicht das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht L die lichtabsorbierende Schicht 23B über die Lichtwellenleiterschichten.

[0093] Das Halbleiter-Lichtempfangselement 1B kann ähnliche Effekte erzielen wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1. Darüber hinaus berücksichtigt das Halbleiter-Lichtempfangselement 1B die Bewegung von Elektronen nur durch die Verwendung einer UTC-Struktur, und es wird erwartet, dass die Reaktionsfähigkeit verbessert wird, wenn die lichtabsorbierende Schicht 23B dünn ist. Da InAsP und InGaAsP eine schnellere Elektronenbeweglichkeit als InP aufweisen, ist eine Verbesserung des Ansprechverhaltens bei gleicher Schichtdicke zu erwarten.

[0094] Zusätzlich enthält in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1B der Halbleiter-Laminatabschnitt 20B die Diffusionssperrschicht 24B des zweiten Leitfähigkeitstyps, die InAsP enthält und auf der lichtabsorbierenden Schicht 23B auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23B vorgesehen ist, und die Kontaktschicht 25 des zweiten Leitfähigkeitstyps, die InGaAs enthält und auf der Diffusionssperrschicht 24B auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23B vorgesehen ist. Ferner umfasst die vierte Halbleiterschicht die Kontaktschicht 25 und die Diffusionssperrschicht 24B, und ein zweiter Teil, mit dem die Elektrode 4 verbunden ist, ist eine Vorderfläche der Kontaktschicht 25. Aus diesem Grund ist es möglich, den Kontaktwiderstand der Elektrode 4 zu verringern und den Reihenwiderstand zu reduzieren. Auf diese Weise ist es möglich, eine Verschlechterung des Ansprechverhaltens zu verhindern. Durch die Verwendung eines Materials mit einem Brechungsindex, der niedriger ist als der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht 23B, für die Diffusionssperrschicht 24B wird es außerdem möglich, Licht in der lichtabsorbierenden Schicht 23B in geeigneter Weise einzuschließen.

[0095] Außerdem beträgt in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1B die Dicke der Elektronentransitschicht 22B 0,3 μm oder mehr und 3,0 μm oder weniger, und die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht 22B beträgt $2,0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger. Durch Festlegen einer Obergrenze für die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht 22B, wie oben beschrieben, kann die Elektronentransitschicht 22B daher in geeigneter Weise verarmt werden, wenn eine Vorspannung angelegt wird. Darüber hinaus ist es durch die Einstellung der Dicke der Elektronentransitschicht 22B in dem oben genannten Bereich möglich, eine Abnahme der Ansprechge-

windigkeit und einen Anstieg des Reihenwiderstands des Halbleiter-Lichtempfangselements 1B zu unterdrücken.

[0096] Man beachte, dass in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1B, ähnlich wie in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1A, die Pufferschicht 21 und die Diffusionssperrschicht 24B an der Seitenfläche 20s enden (Endflächen der Pufferschicht 21 und der Diffusionssperrschicht 24B sind bündig mit einer Endfläche der lichtabsorbierenden Schicht 23B), und die Lichtwellenleiterschicht 27A kann zwischen der Pufferschicht 21 und dem Substrat 10 vorgesehen sein. In diesem Fall enthält der Halbleiter-Laminatabschnitt 20B die Pufferschicht 21 (fünfte Halbleiterschicht) des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen der optischen Wellenleiterschicht 27A und der lichtabsorbierenden Schicht 23B vorgesehen ist, und die Elektronentransitschicht 22B des ersten Leitfähigkeitstyps, die eine geringere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht 21 aufweist und zwischen der Pufferschicht 21 und der lichtabsorbierenden Schicht 23B vorgesehen ist. Indem die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht 22B relativ niedrig gemacht wird, wird die Elektronentransitschicht 22B verarmt, wenn eine Vorspannung angelegt wird, so dass die Geschwindigkeit aufgrund einer Abnahme der Kapazität weiter erhöht wird.

[0097] Ferner kann in diesem Fall die Elektronentransitschicht 22B eine geringere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der lichtabsorbierenden Schicht 23B aufweisen, eine größere Bandlücke als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht 23B haben und zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23B und der Lichtwellenleiterschicht 27A vorgesehen sein. In diesem Fall kann die Kapazität durch eine relative Verringerung der Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht 22B reduziert werden. Darüber hinaus ist es möglich, durch die Verringerung der Verunreinigungskonzentration der Elektronenübergangsschicht 22B die Verarmung zu erleichtern und eine Barriere in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht 23B zu verringern.

[0098] Darüber hinaus kann in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1B der Halbleiter-Laminatabschnitt 20B eine sechste Halbleiterschicht enthalten, die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23B und der diffusionsperrenden Schicht 24B vorgesehen ist und eine Bandlücke zwischen einer Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht 23B und einer Bandlücke der diffusionsperrenden Schicht 24B aufweist. In diesem Fall kann durch die Bereitstellung einer Schicht mit einer Bandlücke zwischen dem der lichtabsorbierenden Schicht 23B und dem der diffusionsperrenden Schicht 24B zwischen den Schichten eine Barriere zwischen den jeweiligen Schichten

verringert und eine Verschlechterung des Ansprechens unterdrückt werden.

[Vierte Ausführungsform]

[0099] Fig. 7 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer vierten Ausführungsform. Wie in Fig. 7 illustriert, unterscheidet sich ein Halbleiter-Lichtempfangselement 1C von dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 gemäß der ersten Ausführungsform dadurch, dass eine Lichtwellenleiterschicht 27C und eine Mantelschicht 29C zusätzlich enthalten sind. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1C enthält die Pufferschicht 21 ähnlich wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 einen Teil 21q, der in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 enthalten ist, und einen Teil 21r, der sich von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 zur Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 erstreckt, und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 endet an der Seitenfläche 20s.

[0100] Ferner sind in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1C in dem Wellenleiterabschnitt 3 die Lichtwellenleiterschicht 27C und die Mantelschicht 29C in dieser Reihenfolge gestapelt und auf dem Teil 21r der Pufferschicht 21 vorgesehen. Die Lichtwellenleiterschicht 27C hat einen Brechungsindex, der mindestens höher ist als der Brechungsindex der Pufferschicht 21 und der Brechungsindex der Mantelschicht 29C. Die Lichtwellenleiterschicht 27C enthält zum Beispiel InGaAsP. Die Lichtwellenleiterschicht 27A kann aus einem Material bestehen, das keinen Dotierstoff enthält (z.B. ein nicht dotiertes Material), um den optischen Verlust zu verringern. Alternativ kann die Lichtwellenleiterschicht 27C aus einem ähnlichen Grund aus einem isolierenden Material hergestellt werden.

[0101] Die Mantelschicht 29C kann z.B. aus InP, InAsP, InGaAsP usw. hergestellt sein. Die Mantelschicht 29C hat einen Brechungsindex, der niedriger ist als zumindest der Brechungsindex der Lichtwellenleiterschicht 27C. Eine Vorderfläche der Mantelschicht 29C auf der der Lichtwellenleiterschicht 27C gegenüberliegenden Seite ist mit dem Schutzfilm F bedeckt. Die Endflächen der Lichtwellenleiterschicht 27C und der Mantelschicht 29C in Lichtwellenleiterichtung (Y-Achsenrichtung) sind mit der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 verbunden. Auf diese Weise ist die Lichtwellenleiterschicht 27C optisch mit dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20 gekoppelt.

[0102] Hier ist eine Dicke der Lichtwellenleiterschicht 27C größer als die Summe aus der Dicke der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 und der Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23. Dadurch erreicht die Lichtwellenleiterschicht 27C die Deck-

schicht 24 jenseits einer Grenzfläche zwischen der Pufferschicht 21 und der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 und einer Grenzfläche zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23 und der Deckschicht 24 in einer Stapelrichtung (Z-Achsenrichtung) des Halbleiter-Laminatabschnitts 20. Der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht 23 kann so eingestellt werden, dass er höher ist als die Brechungsindizes der kapazitätsreduzierenden Schicht 22 und der Deckschicht 24. Auf diese Weise geht das Licht L, das sich durch die Lichtwellenleiterschicht 27C ausbreitet und von der Seitenfläche 20s auf den Halbleiter-Laminatabschnitt 20 einfällt, in die lichtabsorbierende Schicht 23 über und wird in der lichtabsorbierenden Schicht 23 absorbiert. Mit anderen Worten ist das Halbleiter-Lichtempfangselement 1C vom Typ mit seitlichem Einfall.

[0103] Insbesondere sind in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1C die Lichtwellenleiterschicht 27C und die lichtabsorbierende Schicht 23 an der Seitenfläche 20s direkt aneinander gekoppelt. Aus diesem Grund wird in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1C das Licht L, das sich durch die Lichtwellenleiterschicht 27C ausbreitet, direkt auf die lichtabsorbierende Schicht 23 in einer Einfallrichtung (Y-Achsenrichtung) in Bezug auf die Seitenfläche 20s einfallen. Man beachte, dass die Lichtwellenleiterschicht 27C und die Mantelschicht 29C beispielsweise durch Aufwachsen einer Halbleiterschicht auf die Pufferschicht 21 gebildet werden können.

[0104] Das obige Halbleiter-Lichtempfangselement 1C kann auch ähnliche Effekte wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 erzielen, mit Ausnahme des Effekts, dass das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht L die lichtabsorbierende Schicht 23 über die Lichtwellenleiterschicht erreicht. Außerdem kann durch die Anordnung der Lichtwellenleiterschicht 27C unmittelbar neben der lichtabsorbierenden Schicht 23 der Effekt des zwischen der Kernschicht und der Mantelschicht hin und her wandernden Lichts reduziert werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Kopplungseffizienz zu erhöhen und die Empfindlichkeit über eine kurze Distanz zu steigern.

[0105] Man beachte, dass in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1C der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 ähnlich wie in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1B in den Halbleiter-Laminatabschnitt 20B geändert werden kann. In diesem Fall wird die lichtabsorbierende Schicht 23 in die lichtabsorbierende Schicht 23B des zweiten Leitfähigkeitstyps umgewandelt, und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 und die Deckschicht 24 werden in die Elektronentransitschicht 22B bzw. die Diffusionsperrschicht 24B umgewandelt. Die Beziehung zwischen der Lichtwellenleiterschicht 27C und der Mantelschicht 29C und jeder Schicht ist ähnlich.

[Fünfte Ausführungsform]

[0106] Fig. 8 ist eine schematische Querschnittsansicht eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer fünften Ausführungsform. Wie in Fig. 8 illustriert, unterscheidet sich ein Halbleiter-Lichtempfangselement 1D von dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 gemäß der ersten Ausführungsform dadurch, dass die Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatanteils 20 mit dem Schutzfilm F bedeckt ist. Daher sind bei dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1D die Endflächen aller Schichten des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 bündig, um die Seitenfläche 20s zu bilden. Auf diese Weise wird in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1D die Endfläche der lichtabsorbierenden Schicht 23 beispielsweise über dem Schutzfilm F freigelegt, so dass das sich durch den Raum, eine optische Faser usw. ausbreitende Licht L mit der Endfläche der lichtabsorbierenden Schicht 23 an der Seitenfläche 20s gekoppelt werden kann. Daher ist das Halbleiter-Lichtempfangselement 1D vom Seiteneinfallstyp, bei dem der Einfall des Lichts L von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 empfangen wird. Insbesondere fällt im Halbleiter-Lichtempfangselement 1D das Licht direkt auf die lichtabsorbierende Schicht 23 in der Einfallrichtung (Y-Achsenrichtung) in Bezug auf die Seitenfläche 20s.

[0107] Das obige Halbleiter-Lichtempfangselement 1D kann auch ähnliche Effekte wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 erzielen, mit Ausnahme des Effekts, dass das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht L die lichtabsorbierende Schicht 23 über die Lichtwellenleiterschicht erreicht. Dadurch, dass das Licht direkt auf die lichtabsorbierende Schicht 23 fällt, ist es außerdem nicht notwendig, den Wellenleiterabschnitt 3 auf einem Chip zu erzeugen, und somit kann die Chipgröße minimiert werden. Da die Wellenleiterschicht nicht erforderlich ist und eine gestapelte Struktur nur aus einer Kernschicht (lichtabsorbierende Schicht) und einer Mantelschicht (z.B. durch epitaktisches Wachstum) bestehen kann, ist eine Vereinfachung möglich.

[0108] Es ist zu beachten, dass in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1D der Halbleiter-Laminatabschnitt 20 ähnlich wie in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1B in den Halbleiter-Laminatabschnitt 20B geändert werden kann. In diesem Fall wird die lichtabsorbierende Schicht 23 in die lichtabsorbierende Schicht 23B des zweiten Leitfähigkeitstyps umgewandelt, und die kapazitätsreduzierende Schicht 22 und die Deckschicht 24 werden in die Elektronentransitschicht 22B bzw. die Diffusionspererschicht 24B umgewandelt.

[Sechste Ausführungsform]

[0109] Fig. 9 ist eine schematische Draufsicht auf ein Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß einer sechsten Ausführungsform. Fig. 10 ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie X-X von Fig. 9. Fig. 11 ist eine schematische Querschnittsansicht entlang der Linie XI-XI von Fig. 9. Wie in den Fig. 7 bis 9 illustriert, enthält ein Halbleiter-Lichtempfangselement 1K einen Halbleiter-Laminatabschnitt 20K, der auf der Vorderfläche 10a des Substrats 10 vorgesehen ist. Die Vorderfläche 10a (Hauptoberfläche) des Substrats 10 umfasst einen ersten Bereich 10a1, einen zweiten Bereich 10a2 und einen dritten Bereich 10a3, die in der Reihenfolge entlang der X-Achsenrichtung (erste Richtung) angeordnet sind. Der Halbleiter-Laminatabschnitt 20K ist auf dem zweiten Bereich 10a2 vorgesehen.

[0110] Darüber hinaus umfasst das Halbleiter-Lichtempfangselement 1K einen ersten Halbleiterabschnitt 41K des ersten Leitfähigkeitstyps (hier N-Typ, N⁺-Typ als Beispiel), der auf dem ersten Bereich 10a1 vorgesehen ist, und einen zweiten Halbleiterabschnitt 42K des zweiten Leitfähigkeitstyps (hier P-Typ, P⁺-Typ als Beispiel), der auf dem dritten Bereich 10a3 vorgesehen ist. Auf diese Weise sind eine lichtabsorbierende Schicht 23K, die später beschrieben wird, und der Halbleiter-Laminatabschnitt 20K zwischen dem ersten Halbleiterabschnitt 41K und dem zweiten Halbleiterabschnitt 42K angeordnet und in den ersten Halbleiterabschnitt 41K und den zweiten Halbleiterabschnitt 42K eingebettet. Der erste Halbleiterabschnitt 41K und der zweite Halbleiterabschnitt 42K bestehen zum Beispiel aus InP, InAsP, InGaAsP usw.

[0111] Der Schutzfilm F bedeckt die Vorderfläche 20a des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K. Derweil hat der Schutzfilm F eine Öffnung Fn, um einen Teil einer Vorderfläche (obere Oberfläche) des ersten Halbleiterabschnitts 41K freizulegen, und eine Öffnung Fp, um einen Teil einer Vorderfläche (obere Oberfläche) des zweiten Halbleiterabschnitts 42K freizulegen. Die Elektrode 4 (Verbindungsabschnitt 4a) ist durch die Öffnung Fp mit dem zweiten Halbleiterabschnitt 42K verbunden und elektrisch angeschlossen, und die Elektrode 5 (Verbindungsabschnitt 5a) ist durch die Öffnung Fn mit dem ersten Halbleiterabschnitt 41K verbunden und elektrisch angeschlossen. Es ist zu beachten, dass zwischen dem ersten Halbleiterabschnitt 41K und dem zweiten Halbleiterabschnitt 42K und den Elektroden 4 und 5 Kontaktschichten vorgesehen sein können.

[0112] Der Halbleiter-Laminatabschnitt 20K beinhaltet die lichtabsorbierende Schicht 23K, eine Lichtwellenleiterschicht 27K, die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht 23K und dem Substrat 10 vorgesehen ist, und eine Mantelschicht 31K, die auf der lichtab-

sorbierenden Schicht 23K auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite vorgesehen ist. Die lichtabsorbierende Schicht 23K ist vom I-Typ oder vom ersten Leitfähigkeitstyp (zum Beispiel N-Typ). Die lichtabsorbierende Schicht 23K enthält InGaAs. Hier besteht die lichtabsorbierende Schicht 23K aus $N\text{-In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Ferner beträgt die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 23K 0,55 oder mehr (und weniger als 1). Die In-Zusammensetzung x kann beispielsweise 0,57 oder mehr betragen und liegt hier bei 0,59 oder mehr (als ein Beispiel 0,59). Darüber hinaus beträgt die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23K $0,6\ \mu\text{m}$ oder mehr und $1,8\ \mu\text{m}$ oder weniger. Die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 23K kann beispielsweise $1,2\ \mu\text{m}$ oder weniger betragen und liegt hier bei $0,7\ \mu\text{m}$ oder weniger (als ein Beispiel $0,7\ \mu\text{m}$). Eine Breite der lichtabsorbierenden Schicht 23K entlang der Einfallsrichtung des Lichts L auf die Seitenfläche 20s (die Y-Achsenrichtung) beträgt beispielsweise $2\ \mu\text{m}$ oder mehr und $10\ \mu\text{m}$ oder weniger.

[0113] Die Mantelschicht 31K kann z.B. aus InP, InAsP, InGaAsP usw. hergestellt sein. Die Mantelschicht 31K hat einen Brechungsindex, der niedriger ist als der Brechungsindex der lichtabsorbierenden Schicht 23K. Hier ist die Vorderfläche 20a des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K eine Vorderfläche der Mantelschicht 31K auf der der lichtabsorbierenden Schicht 23K gegenüberliegenden Seite. Die Lichtwellenleiterschicht 27K kann zum Beispiel InGaAsP enthalten (hergestellt aus InGaAsP). Die Lichtwellenleiterschicht 27K kann aus einem Material bestehen, das keinen Dotierstoff enthält (z.B. ein nicht dotiertes Material), um den optischen Verlust zu verringern. Alternativ kann die Lichtwellenleiterschicht 27K aus einem ähnlichen Grund aus einem isolierenden Material hergestellt werden.

[0114] Ähnlich wie die Lichtwellenleiterschicht 27A umfasst die Lichtwellenleiterschicht 27K den Teil 27q, der in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20K enthalten ist, und den Teil 27r, der sich von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K zur Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K erstreckt. Eine Vorderfläche des Teils 27r auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite ist mit dem Schutzfilm F bedeckt. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1K wird der Wellenleiterabschnitt 3 durch das Teil 27r gebildet. Das Halbleiter-Lichtempfangselement 1K ist vom Seiteneinfallstyp, bei dem der Einfall des Lichts L , das durch die Lichtwellenleiterschicht 27K im Wellenleiterabschnitt 3 geführt wird, von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K empfangen wird.

[0115] In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1K wird das sich durch den Wellenleiterabschnitt 3 (Lichtwellenleiterschicht 27K) ausbreitende Licht L von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatab-

schnitts 20K auf den Halbleiter-Laminatabschnitt 20K auftreffen, von der Seite der optischen Wellenleiterschicht 27K zur lichtabsorbierenden Schicht 23K übergehen und in der lichtabsorbierenden Schicht 23K absorbiert werden. Das heißt, das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht L erreicht die lichtabsorbierende Schicht 23K über die Lichtwellenleiterschicht 27K. Man beachte, dass in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1K eine Gitterrelaxation zwischen dem Substrat 10 und der lichtabsorbierenden Schicht 23K in der Lichtwellenleiterschicht 27K erreicht werden kann.

[0116] Das Halbleiter-Lichtempfangselement 1K kann ähnliche Effekte erzielen wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 gemäß der ersten Ausführungsform. Darüber hinaus kann durch die Verwendung eines Materials mit einem höheren Brechungsindex als dem der optischen Wellenleiterschicht 27K und einem niedrigeren Brechungsindex als dem der lichtabsorbierenden Schicht 23K das Licht effizienter zur absorbierenden Schicht geleitet werden.

[0117] Man beachte, dass, wie in **Fig. 12** illustriert, in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1K, während das Substrat 10 durch Ätzen, Polieren usw. entfernt wird, der Halbleiter-Laminatabschnitt 20K direkt auf ein separat vorbereitetes Substrat gebondet werden kann. In einem Beispiel von **Fig. 12** wird ein Substrat 10M mit einer ersten Schicht 51M und einer zweiten Schicht 52M, die übereinander gestapelt sind, vorbereitet, und der Halbleiter-Laminatabschnitt 20K wird direkt auf die erste Schicht 51M gebondet. In diesem Fall kann die Lichtwellenleiterschicht 27K des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K direkt mit einem in der zweiten Schicht 52M ausgebildeten Wellenleiter 53M verbunden werden. Die erste Schicht 51M und die zweite Schicht 52M bestehen z.B. aus SiO_2 , und der Wellenleiter 53M enthält z.B. Si. Auf diese Weise kann, wenn das Halbleiter-Lichtempfangselement 1K durch separates Konstruieren und Verbinden des Substrats 10M und des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K hergestellt wird, ein Wellenleiter mit einer großen Fläche zu niedrigen Kosten hergestellt werden.

[Siebte Ausführungsform]

[0118] **Fig. 13** und **14** sind schematische Querschnittsansichten eines Halbleiter-Lichtempfangselements gemäß einer siebten Ausführungsform. **Fig. 13** zeigt einen Querschnitt, der einem Querschnitt entlang der Linie X-X von **Fig. 9** der sechsten Ausführungsform entspricht, und **Fig. 14** zeigt einen Querschnitt, der einem Querschnitt entlang der Linie XI-XI von **Fig. 9** der sechsten Ausführungsform entspricht. Ein Halbleiter-Lichtempfangselement 1L, das in den **Fig. 13** und **14** illustriert ist, unterscheidet sich von dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1K gemäß der sechsten Ausführungsform dadurch,

dass ein Halbleiter-Laminatabschnitt 20L anstelle des Halbleiter-Laminatabschnitts 20K enthalten ist und eine Lichtwellenleiterschicht 32L enthalten ist.

[0119] Der Halbleiter-Laminatabschnitt 20L unterscheidet sich von dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20K dadurch, dass eine lichtabsorbierende Schicht 23L anstelle der lichtabsorbierenden Schicht 23K enthalten ist und dass eine Mantelschicht 33L anstelle der Lichtwellenleiterschicht 27K enthalten ist. Die Mantelschicht 33L kann aus dem gleichen Material wie die Mantelschicht 31K bestehen. Die Mantelschicht 33L erstreckt sich über die Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20L hinaus auf die Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20L. Das heißt, die Mantelschicht 33L umfasst einen Teil 33q, der in dem Halbleiter-Laminatabschnitt 20L enthalten ist, und einen Teil 33r, der sich von der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20L zur Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20L erstreckt. Die Lichtwellenleiterschicht 32L ist auf dem Teil 33r der Mantelschicht 33L an der Außenseite des Halbleiter-Laminatabschnitts 20L gestapelt. Eine vordere Fläche der Lichtwellenleiterschicht 32L auf der dem Substrat 10 gegenüberliegenden Seite ist mit dem Schutzfilm F bedeckt.

[0120] Die lichtabsorbierende Schicht 23L entspricht einer lichtabsorbierenden Schicht, die durch Änderung des Leitfähigkeitstyps der lichtabsorbierenden Schicht 23K in den zweiten Leitfähigkeitstyp (z.B. P-Typ) erhalten wird. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1L ist zwischen dem ersten Halbleiterabschnitt 41K des ersten Leitfähigkeitstyps und der Seitenfläche 20s des Halbleiter-Laminatabschnitts 20L eine Elektronentransitschicht 43 des ersten Leitfähigkeitstyps (z.B. N-Typ) vorgesehen. Das Material usw. der Elektronenübergangsschicht 43 ist ähnlich dem der Elektronenübergangsschicht 22B. Auf diese Weise wird durch die Verwendung der UTC-Struktur nur die Bewegung von Elektronen berücksichtigt, und es wird eine verbesserte Reaktionsfähigkeit erwartet, wenn die lichtabsorbierende Schicht 23L dünn ist. Da außerdem zu erwarten ist, dass InAsP und InGaAsP im Vergleich zu InP eine schnellere Elektronenbeweglichkeit aufweisen, ist bei gleicher Schichtdicke eine bessere Ansprechempfindlichkeit zu erwarten.

[0121] In dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1L geht das Licht L, das sich durch die Lichtwellenleiterschicht 32L ausbreitet und von der Seitenfläche 20s auf den Halbleiter-Laminatabschnitt 20L einfällt, in die lichtabsorbierende Schicht 23L über und wird in der lichtabsorbierenden Schicht 23L absorbiert. Das heißt, dass das Halbleiter-Lichtempfangselement 1L vom Typ mit seitlichem Einfall ist. Insbesondere sind in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1L die Lichtwellenleiterschicht 32L und die lichtabsorbierende Schicht 23L an der Seitenfläche 20s direkt mit-

einander gekoppelt. Aus diesem Grund fällt in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1L das Licht L, das sich durch die Lichtwellenleiterschicht 32L ausbreitet, in der Einfallrichtung (Y-Achsenrichtung) in Bezug auf die Seitenfläche 20s direkt auf die lichtabsorbierende Schicht 23L.

[0122] Das obige Halbleiter-Lichtempfangselement 1L kann auch ähnliche Effekte wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1 erzielen, mit Ausnahme des Effekts, dass das von der Seitenfläche 20s einfallende Licht L die lichtabsorbierende Schicht 23 über die Lichtwellenleiterschicht erreicht. Darüber hinaus kann durch die Anordnung der Lichtwellenleiterschicht 32L unmittelbar neben der lichtabsorbierenden Schicht 23L der Effekt des zwischen der Kernschicht und der Mantelschicht hin- und herlaufenden Lichts reduziert werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Kopplungseffizienz zu erhöhen und die Empfindlichkeit über eine kurze Distanz zu steigern.

[0123] Es ist zu beachten, dass in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1L die lichtabsorbierende Schicht 23L als lichtabsorbierende Schicht 23K des ersten Leitfähigkeitstyps ähnlich wie das Halbleiter-Lichtempfangselement 1K verwendet werden kann. In diesem Fall muss die Elektronentransitschicht 43 nicht vorgesehen werden. Ferner kann in dem lichtempfangenden Halbleiterelement 1K der Leitfähigkeitstyp der lichtabsorbierenden Schicht 23K auf den zweiten Leitfähigkeitstyp (z.B. P-Typ) eingestellt werden, und die Elektronendurchgangsschicht 43 kann vorgesehen werden.

[Andere modifizierte Beispiele]

[0124] Die obigen Ausführungsformen beschreiben einen Aspekt der Offenbarung. Daher kann das Halbleiter-Lichtempfangselement gemäß der Offenbarung durch beliebige Modifizierung der oben erwähnten Halbleiter-Lichtempfangselemente 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1K und 1L erhalten werden.

[0125] In den Halbleiter-Lichtempfangselementen 1, 1A, 1B, 1C und 1D ist die Pufferschicht 21 beispielsweise nicht auf InAsP beschränkt, sondern kann InGaAsP enthalten (oder aus InGaAsP bestehen), um die Bandlücke zu vergrößern und die Durchlässigkeit im 1,3 μm -Band, im 1,55 μm -Band und im 1,6 μm -Band zu verbessern. Darüber hinaus kann jede Schicht des Halbleiter-Laminatabschnitts 20 andere Elemente wie Al enthalten.

[0126] Ferner kann die Pufferschicht 21 in den Halbleiter-Lichtempfangselementen 1, 1A, 1B, 1C und 1D eine Zugentlastungsschicht enthalten, deren Gitterkonstante sich vom Substrat 10 zu den lichtabsorbierenden Schichten 23 und 23B hin kontinuierlich ändert, um sich der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht 23 anzunähern. Ferner kann in

den Halbleiter-Lichtempfangselementen 1, 1A, 1C und 1D der Deckschicht 24 und der Kontaktschicht 25, die in dieser Reihenfolge auf der lichtabsorbierenden Schicht 23 gestapelt sind, die Deckschicht 24 weggelassen werden, und die Kontaktschicht 25 kann direkt auf der lichtabsorbierenden Schicht 23 ausgebildet sein. Auch in diesem Fall wird der Kontaktwiderstand der Elektrode 4 verringert.

[0127] Wenn die Aufmerksamkeit auf die Erhöhung der Geschwindigkeit gerichtet ist, können die lichtabsorbierenden Schichten 23 und 23B in den Halbleiter-Lichtempfangselementen 1, 1A, 1B, 1C und 1D auf ein Halbleiter-Lichtempfangselement vom Wellenleitertyp aufgebracht werden. In dem Halbleiter-Lichtempfangselement vom Wellenleitertyp ist ein Stegwellenleiter auf einem halbisolierenden InP-Substrat ausgebildet, und ein lichtempfangender Abschnitt, der die lichtabsorbierende Schicht 23 und 23B enthält, ist in dem Stegwellenleiter ausgebildet. Auf diese Weise ist es selbst beim Wellenleitertyp möglich, durch die Annahme der lichtabsorbierenden Schicht 23 und 23B mit verbessertem Absorptionsvermögen die Länge einer lichtempfangenden Oberfläche entlang einer Erstreckungsrichtung des Wellenleiters zu reduzieren und die Kapazität zu verringern. Darüber hinaus wird, selbst bei gleicher Dicke, die Reaktionsfähigkeit durch Erhöhung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Elektronen verbessert.

[0128] Darüber hinaus können in den Halbleiter-Lichtempfangselementen 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1K und 1L beispielsweise nach dem Entfernen des Substrats 10 durch Ätzen oder Polieren die Halbleiter-Laminatabschnitte 20, 20A, 20B und 20K mit einem Substrat aus einem Isolator wie Quarz oder einem Material eines halbisolierenden Halbleiters außer InP (z.B. Galliumarsenid usw.) verbunden werden. Mit anderen Worten kann in dem Halbleiter-Lichtempfangselement 1 das Substrat 10 einen Isolator oder einen halbisolierenden Halbleiter enthalten und getrennt von den Halbleiter-Laminatabschnitten 20, 20A, 20B und 20K aufgebaut sein, und die Halbleiter-Laminatabschnitte 20, 20A, 20B und 20K können (zum Beispiel direkt) mit dem Substrat 10 verbunden sein. Auf diese Weise ist es möglich, durch die Herstellung des Halbleiter-Lichtempfangselements 1 durch separates Konstruieren und Verbinden des Substrats 10 und der Halbleiter-Laminatabschnitte 20, 20A, 20B und 20K den Durchmesser zu erhöhen und die Kosten zu senken, indem optische Komponenten unter Verwendung kostengünstiger Materialien hergestellt werden.

[0129] Darüber hinaus kann beim Verbinden des Substrats 10 und der Halbleiter-Laminatabschnitte 20, 20A, 20B, 20K und 20L, die getrennt voneinander aufgebaut sind, ein direktes Verbinden oder ein Verbinden unter Verwendung eines Polymers gewählt

werden. Wenn ein Polymer verwendet wird, um das Substrat 10 und die Halbleiter-Laminatabschnitte 20, 20A, 20B, 20K und 20L zu verbinden, besteht die Möglichkeit, dass Licht in einem Zielwellenlängenband in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Polymers absorbiert wird, aber dies ist bei einer direkten Verbindung nicht möglich.

[0130] Ferner können in den Halbleiter-Lichtempfangselementen 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1K und 1L eine MIM-Struktur, ein elektronisches Bauelement wie ein Transistor, eine optische Schaltung einschließlich eines Punktgrößenwandlers usw. auf dem Substrat 10 ausgebildet werden.

Industrielle Anwendbarkeit

[0131] Ein Halbleiter-Lichtempfangselement, das die Geschwindigkeit erhöhen kann, ist vorgesehen.

Bezugszeichenliste

[0132] 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1K, 1L: Halbleiter-Lichtempfangselement, 20, 20A, 20B, 20K, 20L: Halbleiter-Laminatabschnitt, 21: Pufferschicht (Zugentlastungsschicht, zweite Halbleiterschicht, fünfte Halbleiterschicht), 22: kapazitätsreduzierende Schicht, 22B: Elektronendurchgangsschicht, 23, 23B, 23K, 23L: lichtabsorbierende Schicht, 24: Deckschicht (erste Halbleiterschicht), 24B: Diffusions-sperrschicht (vierte Halbleiterschicht), 25: Kontaktschicht (erste Halbleiterschicht, vierte Halbleiterschicht), 27A, 27C: Lichtwellenleiterschicht, 4: Elektrode (zweite Elektrode), 5: Elektrode (erste Elektrode).

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2009-117499 A [0003]

Patentansprüche

1. Halbleiter-Lichtempfangselement zum Empfangen von einfallendem Licht in einem Wellenlängenband von mindestens einem von einem 1,3 μm -Band, einem 1,55 μm -Band und einem 1,6 μm -Band und zum Erzeugen eines elektrischen Signals als Reaktion auf einfallendes Licht, wobei das Halbleiter-Lichtempfangselement umfasst:

ein Substrat;

einen Halbleiter-Laminatabschnitt, der auf dem Substrat ausgebildet ist und eine Rückfläche auf der Substratseite, eine Vorderfläche auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite und eine Seitenfläche, die sich von der Rückfläche zur Vorderfläche hin erstreckt, aufweist; und

eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode, die elektrisch mit dem Halbleiter-Laminatabschnitt verbunden sind, wobei:

der Halbleiter-Laminatabschnitt enthält

eine lichtabsorbierende Schicht eines ersten Leitfähigkeitstyps, die $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ enthält,

eine Pufferschicht des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen dem Substrat und der lichtabsorbierenden Schicht vorgesehen ist, und

eine erste Halbleiterschicht eines zweiten Leitfähigkeitstyps, der sich von dem ersten Leitfähigkeitstyp unterscheidet, die sich auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet und an die lichtabsorbierende Schicht gebunden ist,

die erste Elektrode mit einem ersten Teil des ersten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der Substratseite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet, die zweite Elektrode mit einem zweiten Teil des zweiten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet,

eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,55 oder mehr beträgt,

die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 1,8 μm oder weniger beträgt,

das Halbleiter-Lichtempfangselement von einem Seiteneinfallstyp ist, bei dem der Lichteinfall von der Seitenfläche empfangen wird, und

eine Breite der lichtabsorbierenden Schicht entlang einer Lichteinfallrichtung in Bezug auf die Seitenfläche 10 μm oder weniger beträgt.

2. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 1, wobei die Pufferschicht eine Zugentlastungsschicht mit einer Gitterkonstante zwischen der Gitterkonstante des Substrats und der Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht enthält.

3. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 1, wobei:
der Halbleiter-Laminatabschnitt enthält

eine Deckschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der lichtabsorbierenden Schicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InAsP oder InGaAsP enthält, und

eine Kontaktschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der Deckschicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InGaAs enthält,

die erste Halbleiterschicht die Kontaktschicht und die Deckschicht enthält, und

der zweite Teil, mit dem die zweite Elektrode verbunden ist, eine Vorderfläche der Kontaktschicht ist.

4. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 1, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt Folgendes umfasst

eine zweite Halbleiterschicht des ersten Leitfähigkeitstyps, die zwischen dem Substrat und der lichtabsorbierenden Schicht angeordnet ist, und

eine kapazitätsreduzierende Schicht des ersten Leitfähigkeitstyps mit einer Verunreinigungskonzentration, die niedriger ist als die Verunreinigungskonzentration der zweiten Halbleiterschicht, die zwischen der zweiten Halbleiterschicht und der lichtabsorbierenden Schicht angeordnet ist.

5. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 3, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine dritte Halbleiterschicht enthält, die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der Deckschicht vorgesehen ist und eine Bandlücke zwischen einer Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht und einer Bandlücke der Deckschicht aufweist.

6. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 1, wobei mindestens eine Schicht der Pufferschicht durch Dotierung mit Fe halbisoliert ist.

7. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 4, wobei die kapazitätsreduzierende Schicht eine höhere Verunreinigungskonzentration als die Verunreinigungskonzentration der lichtabsorbierenden Schicht aufweist, eine größere Bandlücke als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht hat und zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der Pufferschicht vorgesehen ist.

8. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 7, wobei:

die Dicke der kapazitätsreduzierenden Schicht 0,3 μm oder mehr und 3,0 μm oder weniger beträgt, und eine Verunreinigungskonzentration der kapazitätsreduzierenden Schicht $2,0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger beträgt.

9. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 1, wobei:

eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,57 oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 1,2 μm oder weniger beträgt.

10. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 9, wobei:

die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,59 oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 0,7 μm oder weniger beträgt.

11. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 1, wobei:

das Substrat einen Isolator oder einen halbisolierenden Halbleiter enthält, und der Halbleiter-Laminatabschnitt mit dem Substrat verbunden ist.

12. Halbleiter-Lichtempfangselement zum Empfangen von einfallendem Licht in einem Wellenlängenband von mindestens einem von einem 1,3 μm -Band, einem 1,55 μm -Band und einem 1,6 μm -Band und zum Erzeugen eines elektrischen Signals als Reaktion auf einfallendes Licht, wobei das Halbleiter-Lichtempfangselement umfasst:

ein Substrat;

einen Halbleiter-Laminatabschnitt, der auf dem Substrat ausgebildet ist und eine Rückfläche auf der Substratseite, eine Vorderfläche auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite und eine Seitenfläche, die sich von der Rückfläche zur Vorderfläche hin erstreckt, aufweist; und eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode, die elektrisch mit dem Halbleiter-Laminatabschnitt verbunden sind, wobei:

der Halbleiter-Laminatabschnitt enthält eine lichtabsorbierende Schicht eines zweiten Leitfähigkeitstyps, die $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ enthält, eine Pufferschicht eines ersten Leitfähigkeitstyps, der sich von dem zweiten Leitfähigkeitstyp unterscheidet, die zwischen dem Substrat und der lichtabsorbierenden Schicht vorgesehen ist, und eine vierte Halbleiterschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die sich auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet und an die lichtabsorbierende Schicht gebunden ist, die erste Elektrode mit einem ersten Teil des ersten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der Substratseite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet, die zweite Elektrode mit einem zweiten Teil des zweiten Leitfähigkeitstyps des Halbleiter-Laminatabschnitts verbunden ist, der sich auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht befindet, eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht 0,55 oder mehr beträgt, die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht 1,8 μm

oder weniger beträgt, das Halbleiter-Lichtempfangselement von einem Seiteneinfallstyp ist, bei dem der Lichteinfall von der Seitenfläche empfangen wird, und eine Breite der lichtabsorbierenden Schicht entlang einer Lichteinfallrichtung in Bezug auf die Seitenfläche 10 μm oder weniger beträgt.

13. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 12, wobei die Pufferschicht eine Zugentlastungsschicht mit einer Gitterkonstante zwischen einer Gitterkonstante des Substrats und einer Gitterkonstante der lichtabsorbierenden Schicht enthält.

14. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 12, wobei:

der Halbleiter-Laminatabschnitt enthält eine Diffusionssperrschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der lichtabsorbierenden Schicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InAsP oder InGaAsP enthält, und eine Kontaktschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps, die auf der Diffusionssperrschicht auf der dem Substrat gegenüberliegenden Seite in Bezug auf die lichtabsorbierende Schicht vorgesehen ist und InGaAs enthält, die vierte Halbleiterschicht die Kontaktschicht und die Diffusionssperrschicht enthält, und der zweite Teil, mit dem die zweite Elektrode verbunden ist, eine Vorderfläche der Kontaktschicht ist.

15. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 12, wobei:

der Halbleiter-Laminatabschnitt eine Elektronendurchgangsschicht des ersten Leitfähigkeitstyps enthält, die zwischen der Pufferschicht und der lichtabsorbierenden Schicht vorgesehen ist, und eine Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht niedriger ist als eine Verunreinigungskonzentration der Pufferschicht.

16. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 14, wobei der Halbleiter-Laminatabschnitt eine sechste Halbleiterschicht enthält, die zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der Diffusionssperrschicht vorgesehen ist und eine Bandlücke zwischen einer Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht und einer Bandlücke der Diffusionssperrschicht aufweist.

17. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 12, wobei mindestens eine Schicht der Pufferschicht halbisoliert ist, indem sie mit Fe dotiert ist.

18. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 15, wobei die Elektronentransitschicht eine Verunreinigungskonzentration aufweist, die niedriger ist als die Verunreinigungskonzentration

der lichtabsorbierenden Schicht, eine Bandlücke aufweist, die größer ist als die Bandlücke der lichtabsorbierenden Schicht, und zwischen der lichtabsorbierenden Schicht und der Pufferschicht vorgesehen ist.

19. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 18, wobei:
die Dicke der Elektronentransitschicht $0,3 \mu\text{m}$ oder mehr und $3,0 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt, und die Verunreinigungskonzentration der Elektronentransitschicht $2,0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ oder mehr und $3,0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ oder weniger beträgt.

20. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 12, wobei:
die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht $0,57$ oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht $0,3 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

21. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 12, wobei:
die In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht $0,59$ oder mehr beträgt und die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht $0,1 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

22. Halbleiter-Lichtempfangselement nach Anspruch 12, wobei:
das Substrat einen Isolator oder einen halbisolierenden Halbleiter enthält, und der Halbleiter-Laminatabschnitt mit dem Substrat verbunden ist.

23. Halbleiter-Lichtempfangselement zum Empfangen von einfallendem Licht in einem Wellenlängenband von mindestens einem von einem $1,3 \mu\text{m}$ -Band, einem $1,55 \mu\text{m}$ -Band und einem $1,6 \mu\text{m}$ -Band und zum Erzeugen eines elektrischen Signals als Reaktion auf einfallendes Licht, wobei das Halbleiter-Lichtempfangselement umfasst:
ein Substrat mit einer Hauptoberfläche, die einen ersten Bereich, einen zweiten Bereich und einen dritten Bereich aufweist, die in einer ersten Richtung angeordnet sind;
einen Halbleiter-Laminatabschnitt, der auf dem zweiten Bereich ausgebildet ist und eine Rückfläche auf der Substratseite, eine Vorderfläche auf einer dem Substrat gegenüberliegenden Seite und eine Seitenfläche, die sich von der Rückfläche zur Vorderfläche erstreckt, aufweist;
einen ersten Halbleiterabschnitt eines ersten Leitfähigkeitstyps, der auf dem ersten Bereich ausgebildet ist;
einen zweiten Halbleiterabschnitt eines zweiten Leitfähigkeitstyps, der sich von dem ersten Leitfähigkeitstyp unterscheidet, der auf dem dritten Bereich ausgebildet ist;
eine erste Elektrode, die elektrisch mit dem ersten

Halbleiterteil verbunden ist;
eine zweite Elektrode, die elektrisch mit dem zweiten Halbleiterteil verbunden ist; und
einen Lichtwellenleiter, der auf dem zweiten Bereich ausgebildet ist, sich entlang der Hauptoberfläche und entlang einer zweiten Richtung, die die erste Richtung schneidet, in Richtung der Seitenoberfläche erstreckt und mit der Seitenoberfläche gekoppelt ist, wobei:

der Halbleiter-Laminatabschnitt eine lichtabsorbierende Schicht enthält, die $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ enthält, eine In-Zusammensetzung x in der lichtabsorbierenden Schicht $0,55$ oder mehr beträgt, die Dicke der lichtabsorbierenden Schicht $1,8 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt,
das Halbleiter-Lichtempfangselement von einem Seiteneinfallstyp ist, bei dem der Lichteinfall von der Seitenfläche über den Lichtwellenleiter empfangen wird, und
eine Breite der lichtabsorbierenden Schicht entlang einer Lichteinfallrichtung in Bezug auf die Seitenfläche $10 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Fig.1

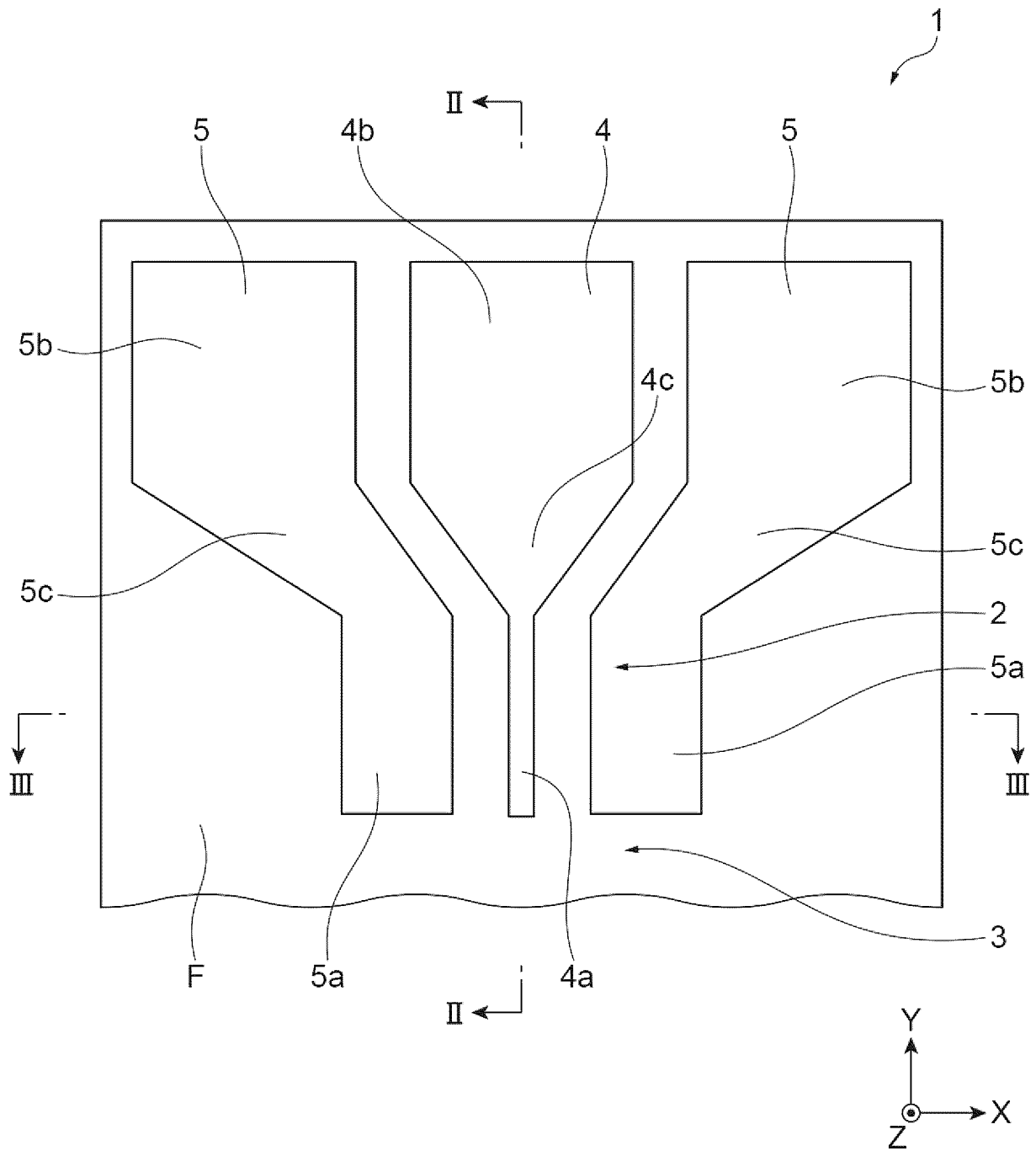


Fig.2

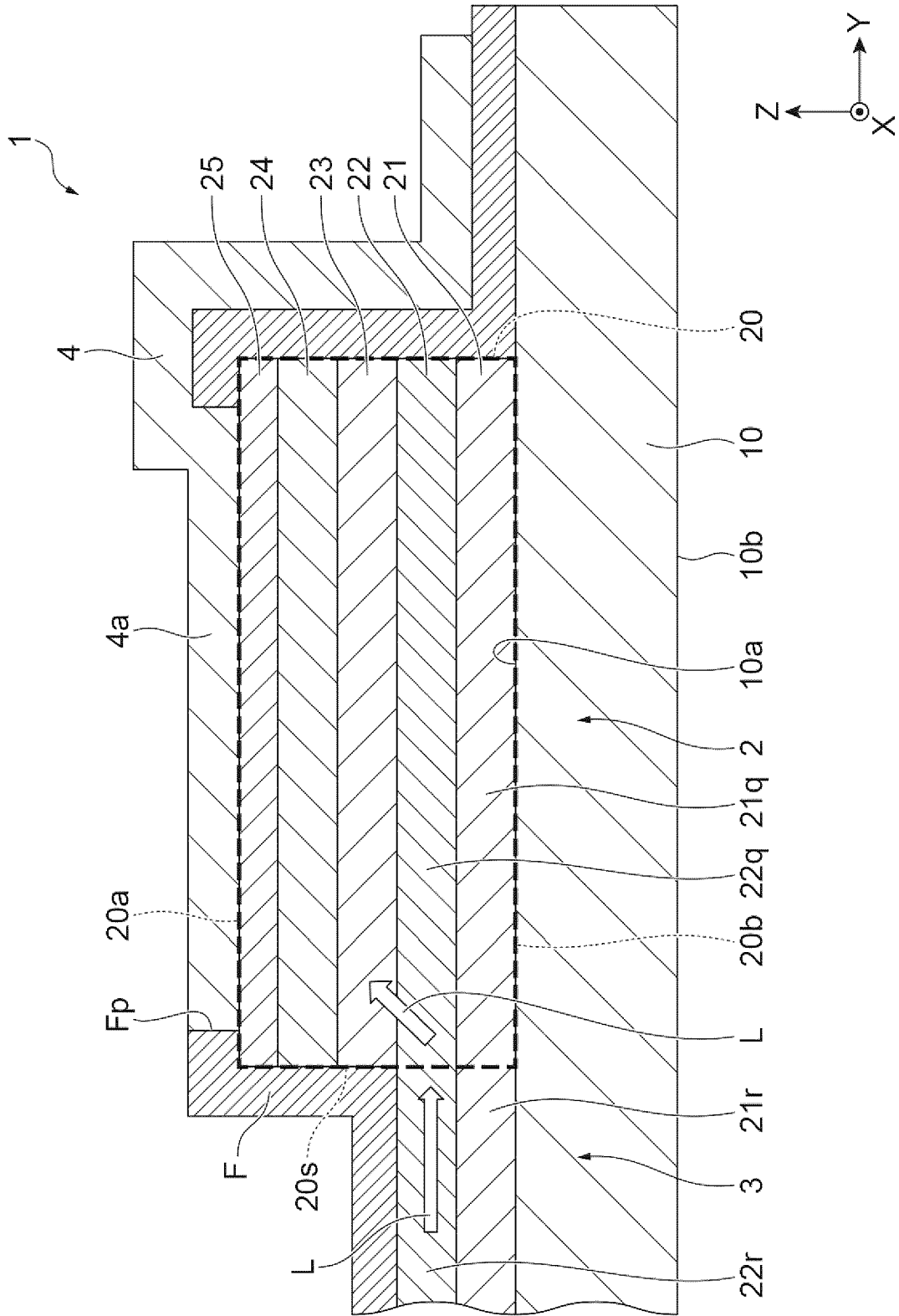


Fig.3

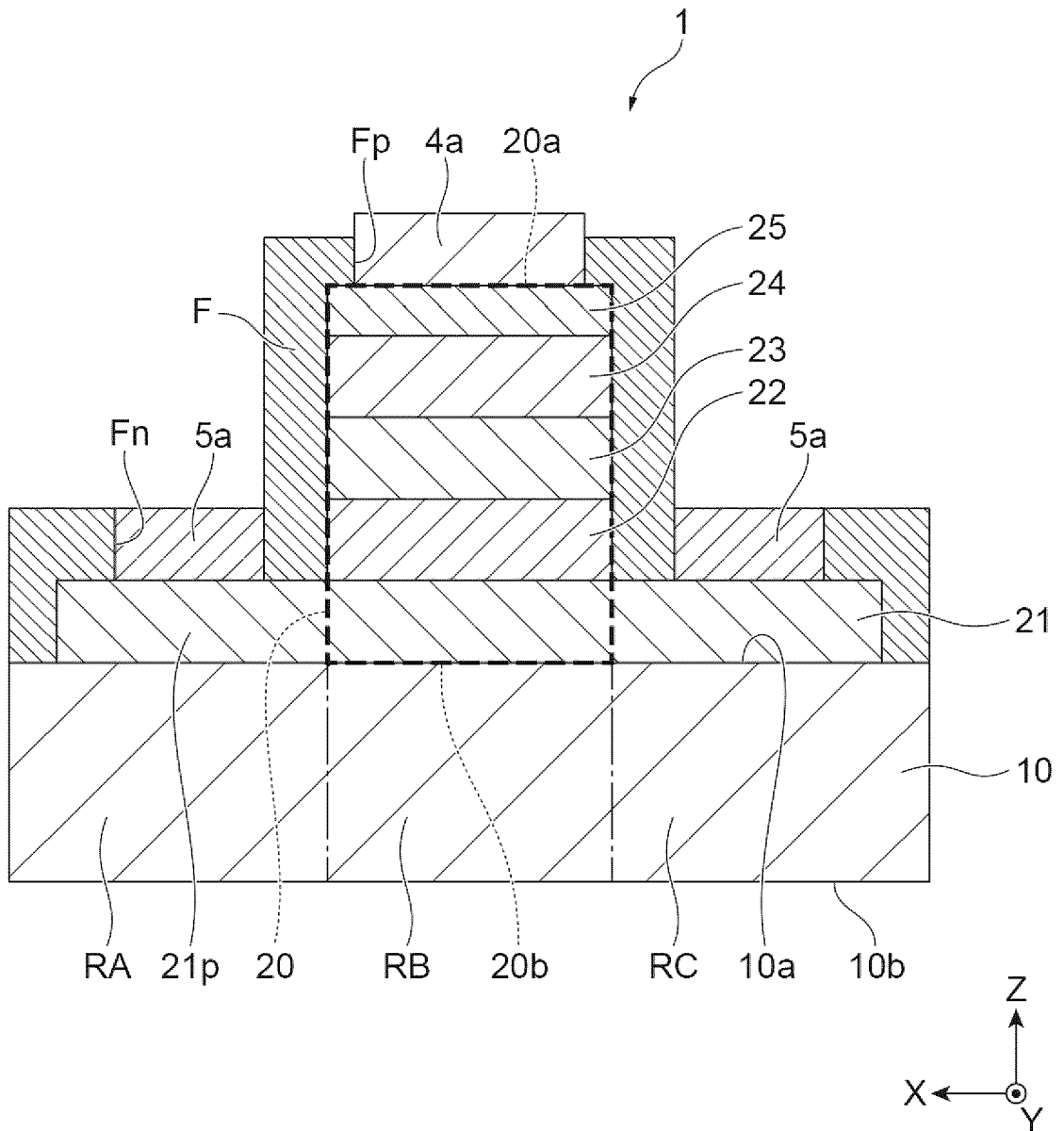


Fig.4

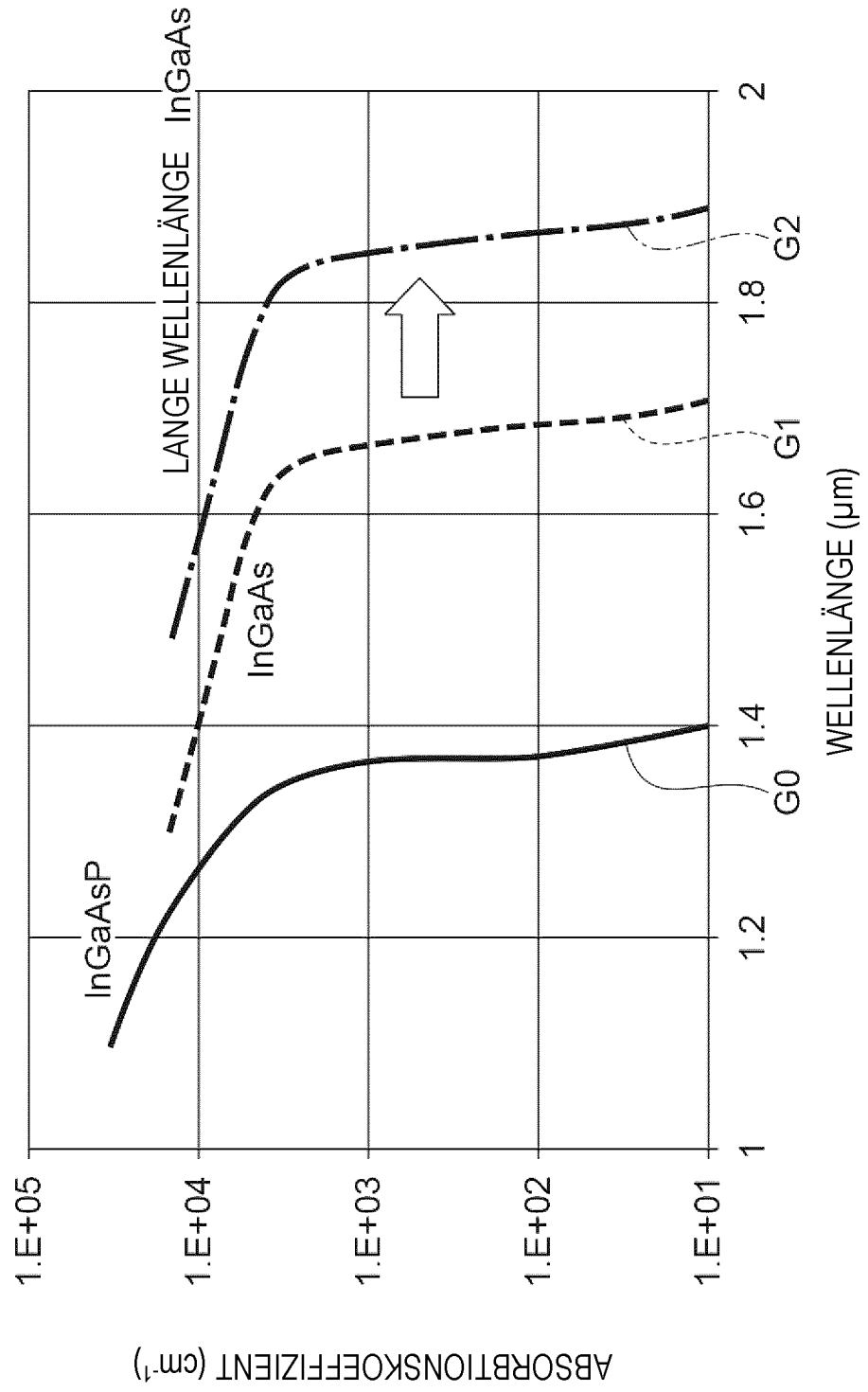


Fig.5

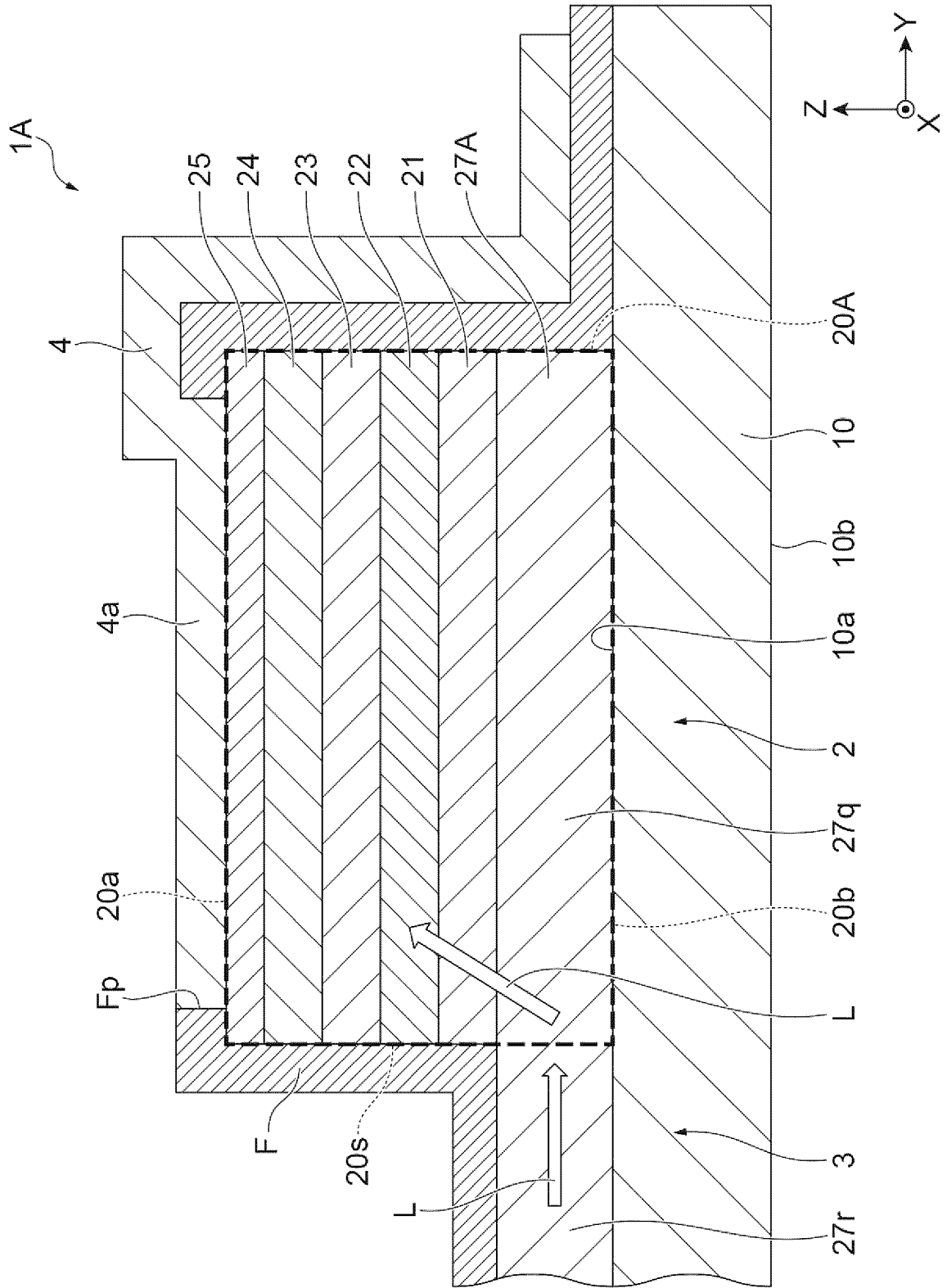


Fig.6

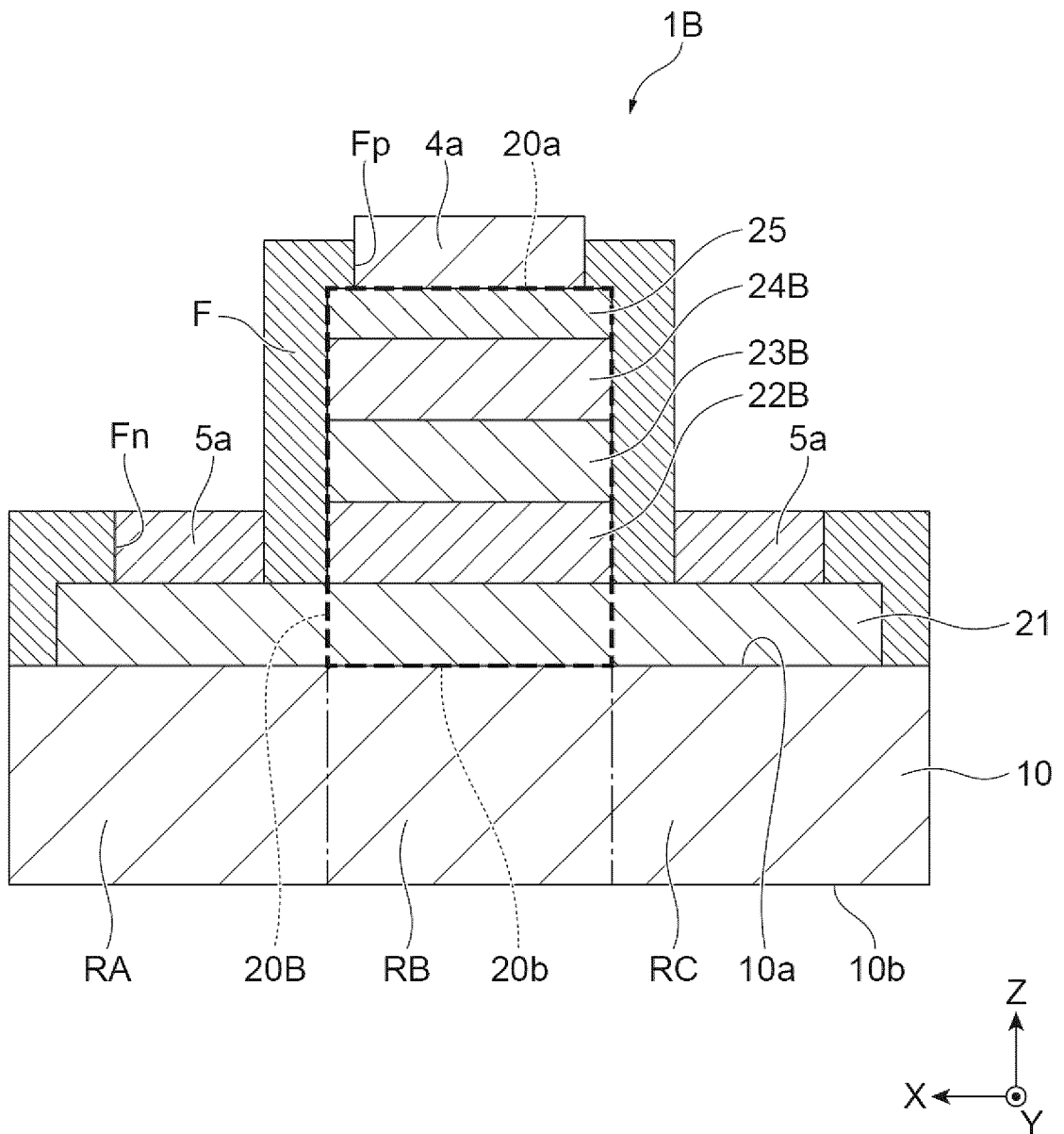


Fig.7

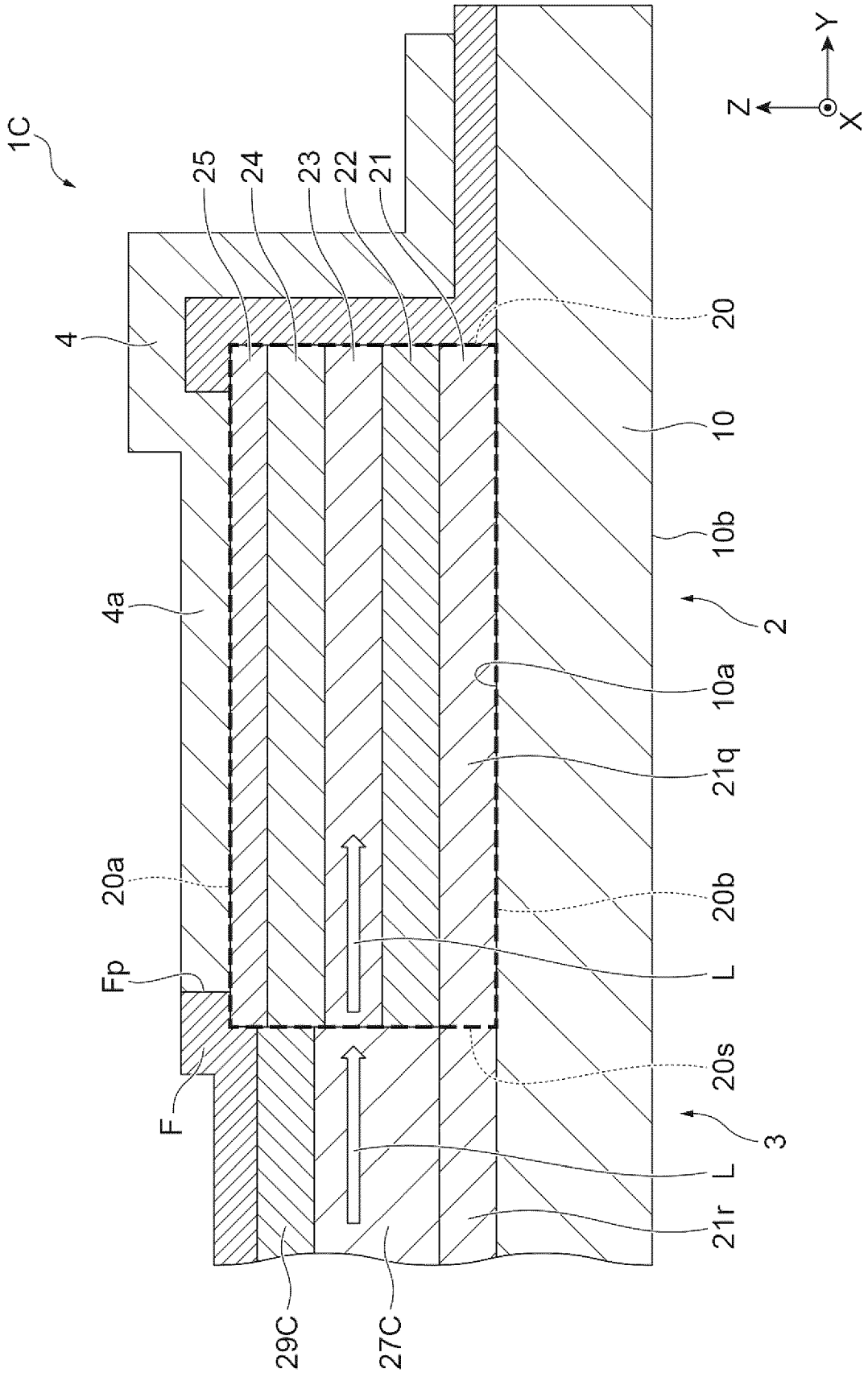


Fig.8

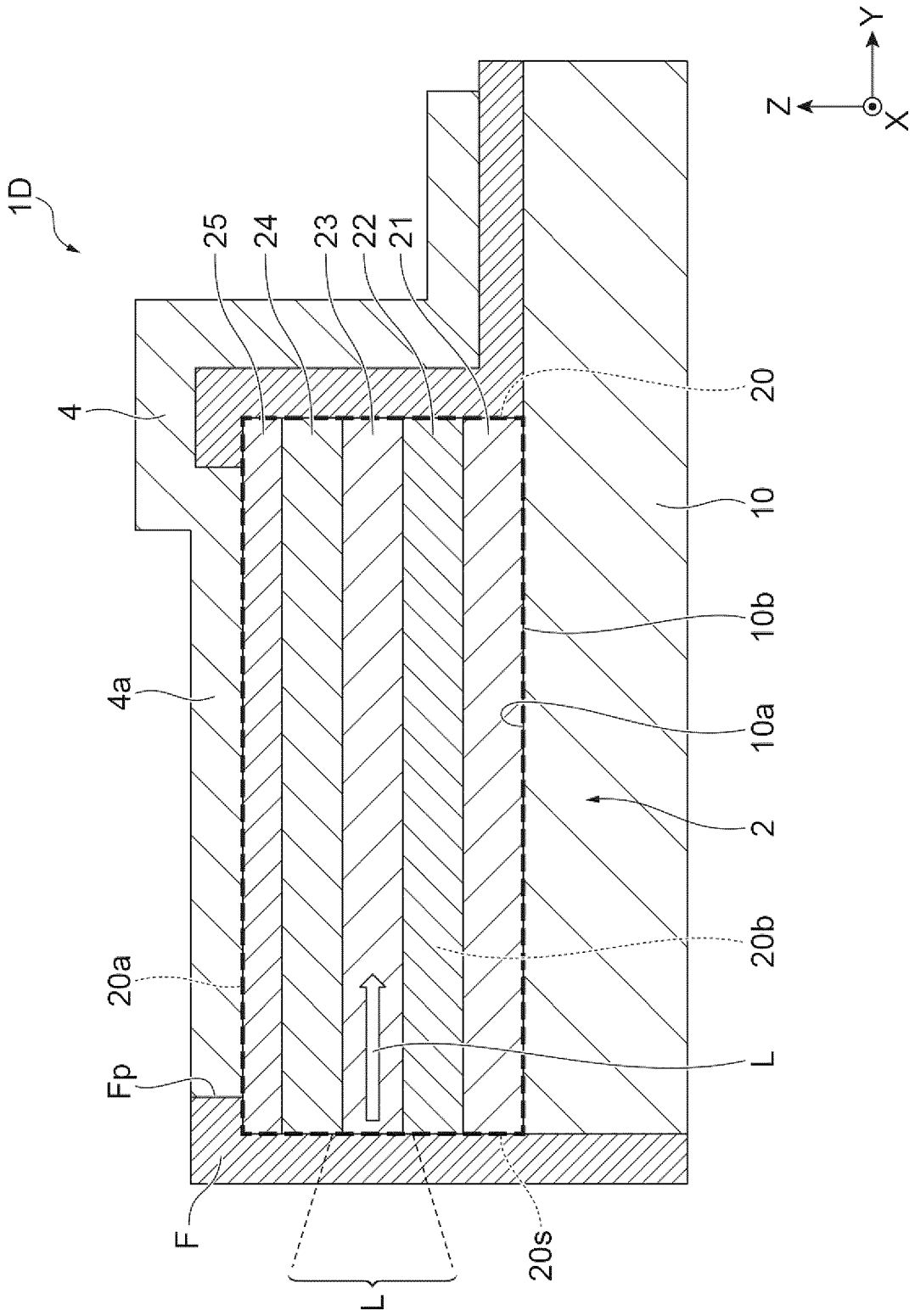


Fig.9

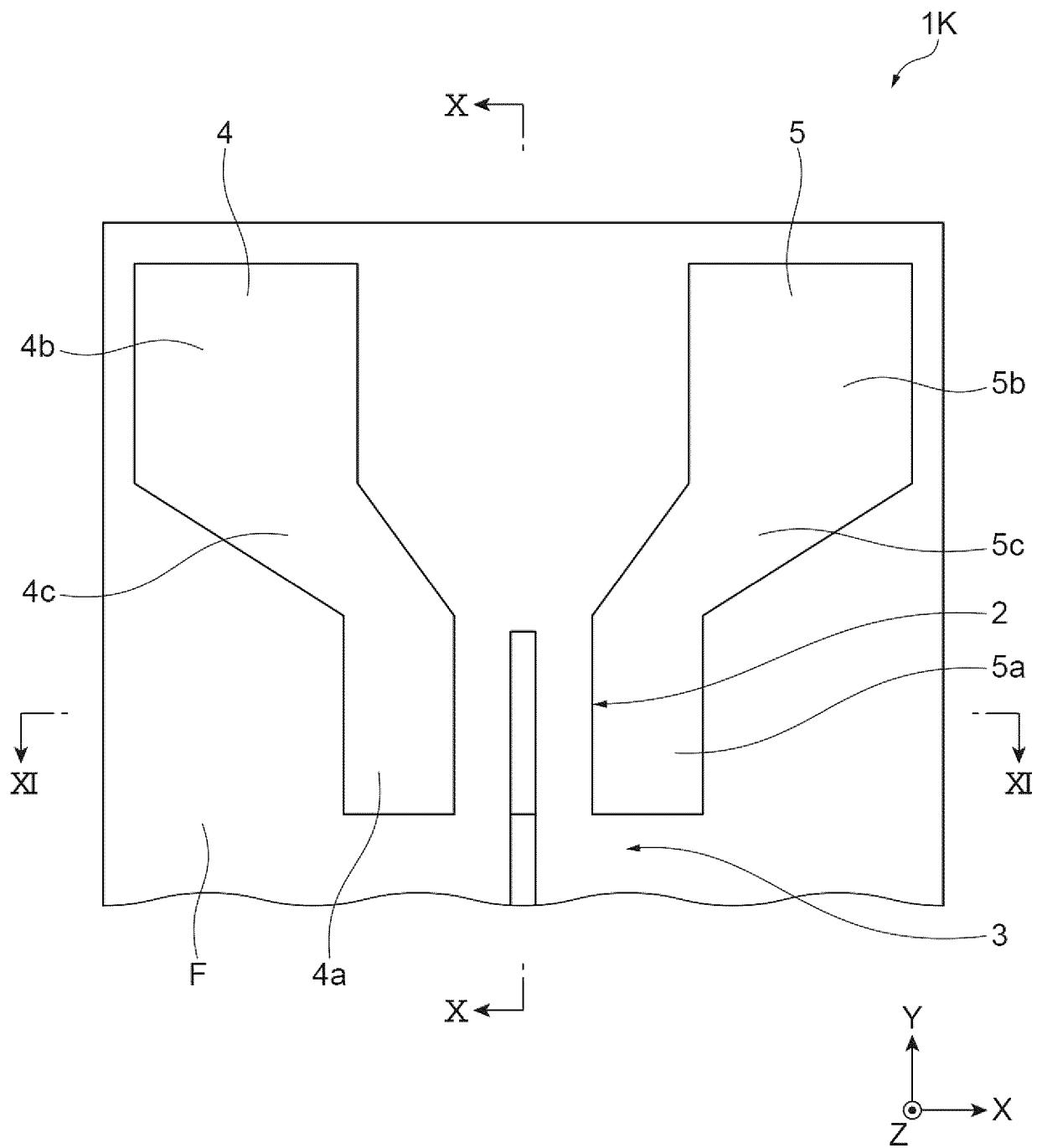


Fig.10

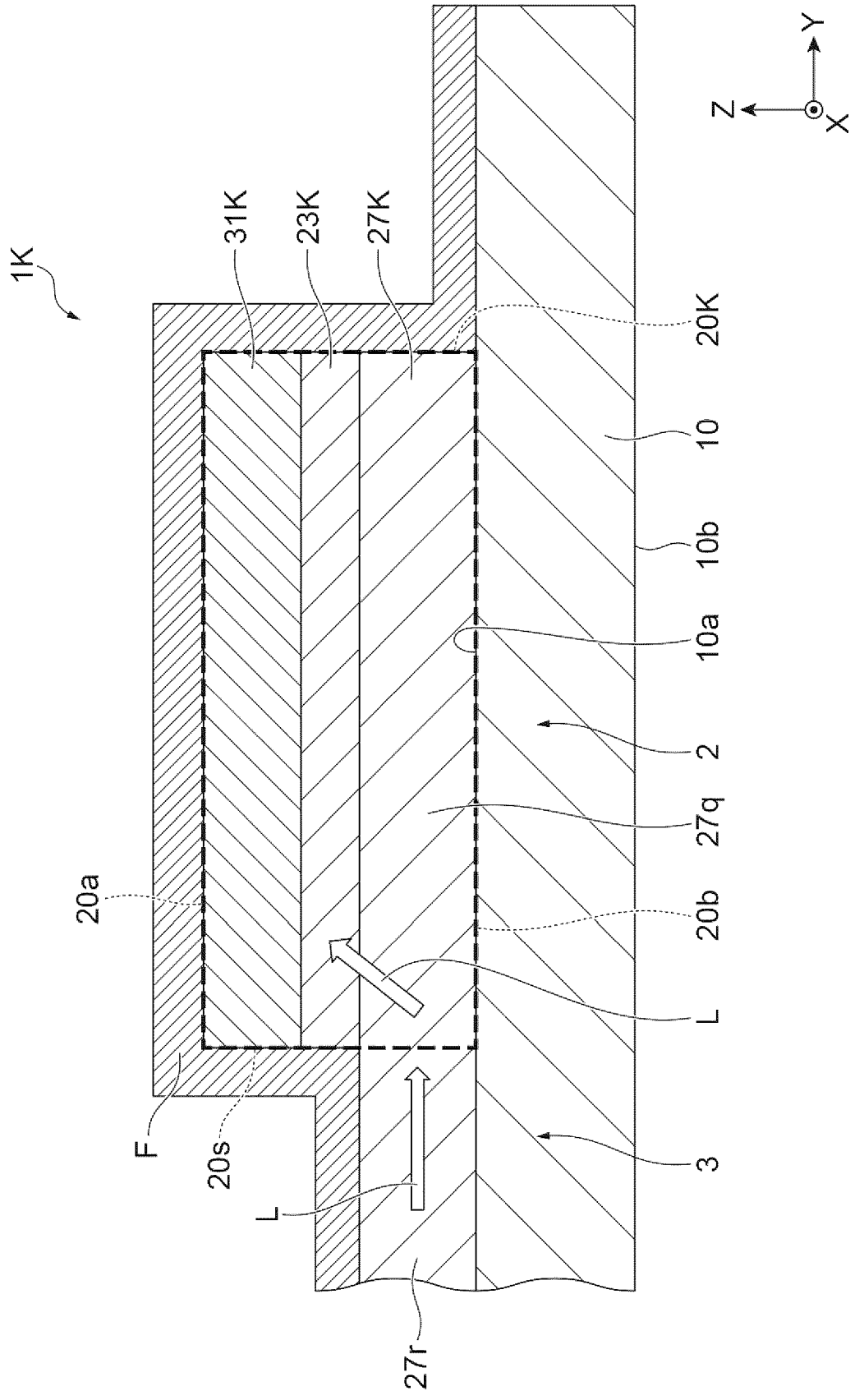


Fig.11

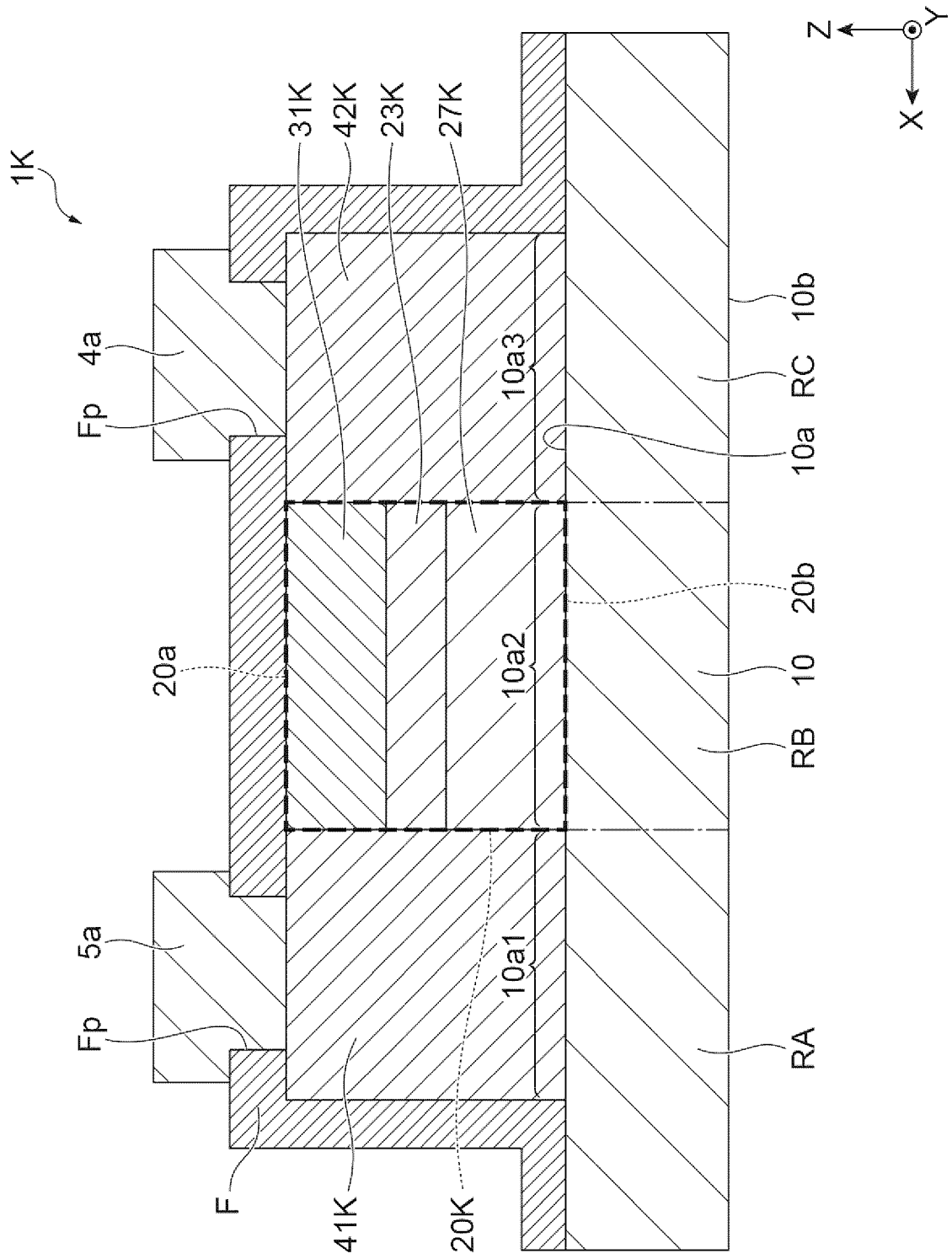


Fig.12

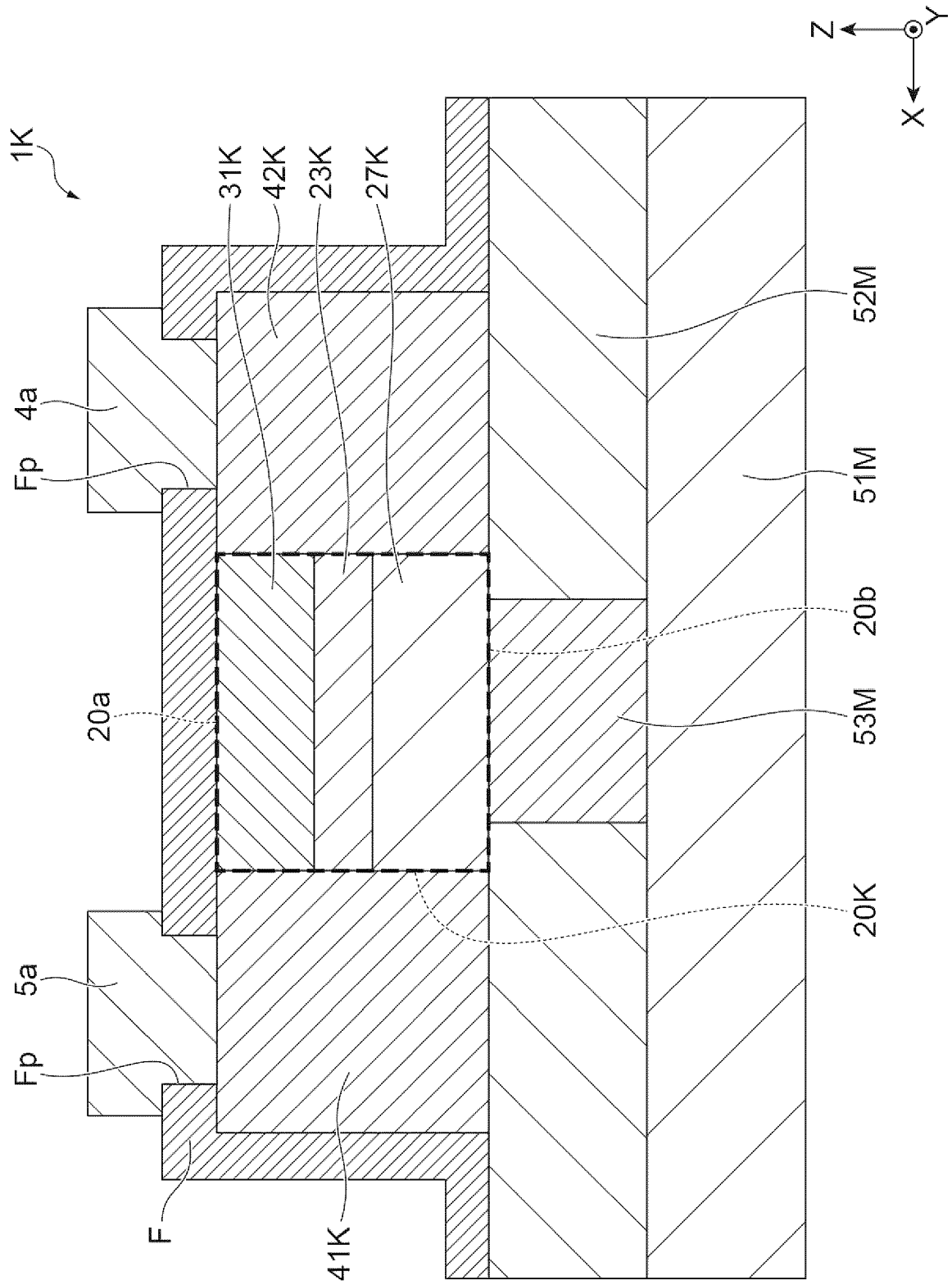


Fig.14

