

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
15. Mai 2014 (15.05.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/072183 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 31/105 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/072250

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Oktober 2013 (24.10.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 220 548.9
12. November 2012 (12.11.2012) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEW. FORSCHUNG E.V.**
[DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: **JANIAK, Klemens**; Ahornstraße 27, 12163
Berlin (DE). **RUNGE, Patrick**; Orber Straße 4a, 14193
Berlin (DE). **ZHOU, Gan**; Spandauer Damm 84, 14059
Berlin (DE). **SCHELL, Martin**; Lychener Straße 17,
10437 Berlin (DE).

(74) Anwälte: **GOEDEN, Christian** et al.; Andrae
Westendorp, Balanstraße 55, 81541 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: RECEIVER AND METHOD FOR RECEIVING OPTICAL SIGNALS

(54) Bezeichnung : EMPFÄNGER UND VERFAHREN FÜR DEN EMPFANG OPTISCHER SIGNALE

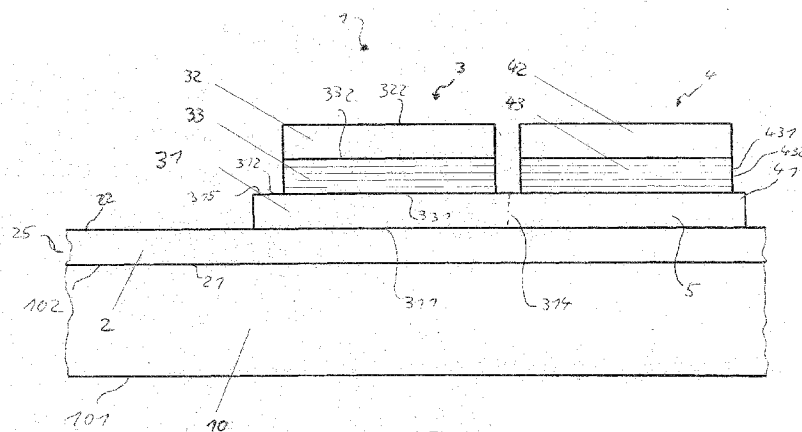


Fig.1

(57) **Abstract:** The invention relates to a receiver (1) for receiving optical signals, having at least one waveguide (2), to which an optical input signal can be supplied, at least one first photodiode mesa (3) having at least one first contact layer (31), which is arranged on a part-face of the waveguide (2), and at least one absorption layer (33), which is arranged at least on a part-face of the first contact layer (31), and at least one second contact layer (32), which is arranged on the absorption layer (33), wherein the receiver (1) contains at least one second photodiode mesa (4), which contains at least one first contact layer (41), an absorption layer (43) and a second contact layer (42), wherein the first contact layer (41) is arranged on a part-face of the waveguide (2) and the at least one absorption layer (43) is arranged on at least one part-face of the first contact layer (41) and the second contact layer (42) is arranged on the absorption layer (43), wherein the absorption layer (33) of the first photodiode mesa (3) contains at least one quantum well structure and is designed to absorb light having a first polarisation direction more than light having a second polarisation direction, and the absorption layer (43) of the second photodiode mesa (4) is composed differently from the absorption layer (33) of the first photodiode mesa (3).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/072183 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft einen Empfänger (1) für den Empfang optischer Signale, mit zumindest einem Wellenleiter (2), welchem ein optisches Eingangssignal zuführbar ist, zumindest einem ersten Photodioden-Mesa (3), mit zumindest einer ersten Kontaktschicht (31), welche auf einer Teilfläche des Wellenleiters (2) angeordnet ist und zumindest einer Absorptionsschicht (33), welche zumindest auf einer Teilfläche der ersten Kontaktschicht (31) angeordnet ist und zumindest einer zweiten Kontaktschicht (32) welche auf der Absorptionsschicht (33) angeordnet ist, wobei der Empfänger (1) zumindest einen zweiten Photodioden-Mesa (4) enthält, welcher zumindest eine erste Kontaktschicht (41), eine Absorptionsschicht (43) und eine zweite Kontaktschicht (42) enthält, wobei die erste Kontaktschicht (41) auf einer Teilfläche des Wellenleiters (2) angeordnet ist und die zumindest eine Absorptionsschicht (43) auf zumindest einer Teilfläche der ersten Kontaktschicht (41) angeordnet ist und die zweite Kontaktschicht (42) auf der Absorptionsschicht (43) angeordnet ist, wobei die Absorptionsschicht (33) des ersten Photodioden-Mesa (3) zumindest eine Quantentopfstruktur beinhaltet und dazu eingerichtet ist, Licht mit einer ersten Polarisationsrichtung stärker zu absorbieren als Licht einer zweiten Polarisationsrichtung, und die Absorptionsschicht (43) des zweiten Photodioden-Mesa (4) abweichend von der Absorptionsschicht (33) des ersten Photodioden-Mesa (3) zusammengesetzt ist.

Empfänger und Verfahren für den Empfang optischer Signale

Die Anmeldung betrifft einen Empfänger für den Empfang optischer Signale mit zumindest einen Wellenleiter, welchem ein optisches Eingangssignal zuführbar ist, und mit zumindest einem ersten Photodioden-Mesa, welcher dazu eingerichtet ist, das optische Eingangssignal zumindest teilweise in ein elektrisches Signal zu wandeln und mit einem zweiten Photodioden-Mesa, welcher ebenfalls dazu eingerichtet ist, zumindest einen Teil des optischen Eingangssignals in ein elektrisches Signal zu wandeln. Weiterhin betrifft die Erfindung ein entsprechendes Verfahren zum Empfang optischer Signale. Empfänger und Verfahren der eingangs genannten Art werden dazu verwendet, am Ende einer optischen Datenübertragungsstrecke die optischen Signale in elektrische Signale zu wandeln, sodass diese weiterverarbeitet werden können.

Aus C. R. Doerr, L. Zhang, P. J. Windsor, N. Weimann, V. Houtsma, T.-C. Hu, N. J. Sauer, L. L. Buhl, D. T. Neilson, S. Chandrasekhar, and Y. K. Chen: Monolithic InP dual-polarization and dual-quadrature coherent receiver. IEEE Photonics Technologies Letters, Vol. 23, No. 11 (694) 2011 ist bekannt, die Bandbreite einer optischen Übertragungsstrecke dadurch zu erhöhen, dass Licht

unterschiedlicher Polarisierung als Trägersignal eingesetzt wird. Der Empfänger enthält einen Strahlteiler, welcher Licht unterschiedlicher Polarisierung auf unterschiedliche optische Pfade aufteilt, welche jeweils eine Mehrzahl von Photodioden und Demodulatoren enthalten, sodass die mit unterschiedlicher Polarisierung codierten Datenströme getrennt decodiert werden können.

Dieser bekannte Empfänger weist jedoch den Nachteil auf, dass der Strahlteiler als zusätzliches Bauelement im Empfänger integriert werden muss, was den Empfänger fehleranfällig und aufwendig in der Produktion macht.

Aus H. Takeuchi, K. Kasaya, Y. Kondo, H. Yasaka, K. Oe, Y. Imamura: Monolithic Integrated Coherent Receiver on InP Substrate, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 1, No. 11 ist ein monolithisch integrierter Aufbau eines optischen Empfängers bekannt. Dieser bekannte Empfänger enthält einen 3dB-Koppler mit zwei Eingängen und zwei Ausgängen. An die Ausgänge sind mit jeweils einer p-i-n-Photodiode verbunden. Ein Eingang ist dazu vorgesehen, das optische Datensignal zu empfangen. Der andere Eingang ist mit dem Ausgang einer Laserdiode verbunden. Der Koppler, die Laserdiode und die beiden p-i-n-Photodioden sind auf einem einzigen InP-Substrat aufgebaut.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, einen Empfänger und ein Verfahren für den Empfang optischer Signale bereitzustellen, welche eine erhöhte Zuverlässigkeit bieten und/oder einfacher herstellbar sind.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Empfänger gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren gemäß Anspruch 11 gelöst.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, einen Empfänger für den Empfang optischer Signale einzusetzen, welcher zumindest

einen Wellenleiter aufweist. Der Wellenleiter ist dazu eingerichtet, ein in diesen eingekoppeltes optisches Eingangssignal in seinem Inneren zu führen. Das optische Eingangssignal kann dem Empfänger im Freistrahle zugeführt werden oder am Ende einer faseroptischen Übertragungsstrecke bereitgestellt werden. Das optische Eingangssignal kann in an sich bekannter Weise durch einen Eingangskoppler oder eine Linsenoptik an die Akzeptanz des Wellenleiters angepasst werden.

Das optische Eingangssignal enthält eine erste Signalkomponente mit einer ersten Polarisierung und eine zweite Signalkomponente mit einer zweiten Polarisierung. Die erste und die zweite Polarisierung können in einigen Ausführungsformen der Erfindung durch eine TE-Welle und eine TM-Welle gebildet sein. Jede Signalkomponente kann wiederum als Trägersignal für eine Daten repräsentierende Signalfolge dienen. Dementsprechend ist jede Signalfolge mit einem entsprechenden Modulationsverfahren moduliert. Beispielsweise kann zumindest eine Signalkomponente des optischen Eingangssignals frequenzmoduliert oder amplitudenmoduliert oder phasenmoduliert sein oder eine Quadratur-Amplitudenmodulation aufweisen. Die Verwendung eines optischen Eingangssignals mit einer ersten und einer zweiten Signalkomponente kann somit die Bandbreite der Übertragungsstrecke in einem Polarisations-Diversity-Verfahren erhöhen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann das Eingangssignal ein DP-QPSK-Signal sein.

Der zumindest eine Wellenleiter koppelt an einen ersten Photodioden-Mesa und einen zweiten Photodioden-Mesa. Ein Photodioden-Mesa kann als pn-Diode oder pin-Diode ausgebildet sein. Dies bedeutet, dass der Photodioden-Mesa zumindest eine erste Kontaktschicht mit einer ersten Seite und einer gegenüberliegenden zweiten Seite aufweist. Die Kontaktschicht kann unmittelbar oder unter Verwendung von zumindest einer Zwischenschicht auf der Oberseite des

Wellenleiters angeordnet sein. Zwischenschichten können dazu verwendet werden, die Haftung zu verbessern und/oder Gitterfehlanpassungen zu reduzieren.

Auf der ersten Kontaktschicht kann in einigen Ausführungsformen der Erfindung zumindest eine Absorptionsschicht angeordnet sein. Die Absorptionsschicht dient dazu, Photonen des optischen Eingangssignals zu absorbieren und mit der aufgenommenen Energie Elektron-Loch-Paare zu erzeugen. Hierzu kann die Absorptionsschicht ein intrinsisches, d. h. nominell undotiertes Halbleitermaterial enthalten oder daraus bestehen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Absorptionsschicht aus einer Mehrzahl von Einzelschichten zusammengesetzt sein.

Erfindungsgemäß wird nun vorgeschlagen, zumindest einen Photodioden-Mesa des Empfängers mit einer Quantentopfstruktur in der Absorptionsschicht auszustatten. Die Quantentopfstruktur enthält zumindest eine Barrierenschicht und zumindest eine den Quantentopf bildende Leitschicht. Daraus resultiert ein Potentialverlauf, der die Bewegungsfreiheit der Elektronen in einer Raumdimension einschränkt, so dass nur eine planare Region besetzt werden kann. Die Dicke der Leitschicht bestimmt die Breite des Quantentopfes und damit die quantenmechanischen Zustände, die das Teilchen einnehmen kann. Dies kann zur Ausbildung von diskreten Sub-Bändern führen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Barriereschicht einen Halbleiter größerer Bandlückenenergie enthalten oder daraus bestehen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die zumindest eine Barrierenschicht AlGaAs enthalten. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Leitschicht einen Halbleiter geringerer Bandlückenenergie enthalten oder daraus bestehen. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die zumindest eine Leitschicht GaAs enthalten.

In Abhängigkeit der elektronischen Struktur der Absorptionsschicht kann diese Licht einer vorgebbaren Polarisierung stärker absorbieren als Licht einer anderen Polarisierung. Somit kann eine Signalkomponente eines optischen Polarisations-Diversity-Signals von zumindest einer zugeordneten Photodiode empfangen werden, ohne dass ein bisher nach dem Stand der Technik verwendeter Strahlteiler erforderlich ist.

Auf der Absorptionsschicht ist eine zweite Kontaktschicht angeordnet. Zwischen der ersten Kontaktschicht und der Absorptionsschicht und/oder zwischen der Absorptionsschicht und der zweiten Kontaktschicht können ebenfalls optionale Zwischenschichten aufgebracht sein, welche Gitterfehlanspassungen vermindern, die Haftung verbessern und/oder die Bandstruktur zu einem gewünschten Verhalten beeinflussen.

Neben den drei genannten Schichten kann der Photodioden-Mesa weitere, hier nicht explizit genannte Schichten aufweisen, beispielsweise metallische Kontaktschichten oder Passivierungsschichten. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die erste Kontaktschicht eine n-Leitfähigkeit aufweisen und die zweite Kontaktschicht kann eine p-Leitfähigkeit aufweisen. Somit können in der Absorptionsschicht gebildete Elektro-Loch-Paare als Strom- oder Spannungssignal an den Kontaktschichten ausgelesen werden, um so ein das modulierte optische Eingangssignal repräsentierendes elektrisches Signal zu erzeugen.

Der zweite Photodioden-Mesa kann entweder eine konventionelle pn-Diode oder pin-Diode sein. In diesem Fall empfängt die zweite Photodiode beide Signalkomponenten.

In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann auch der zweite Photodioden-Mesa eine Quantentopfstruktur enthalten, welche insoweit komplementär zur Quantentopfstruktur des ersten Photodioden-Mesa angelegt ist, dass der zweite

Photodioden-Mesa optische Signale mit der anderen Polarisierung stärker absorbiert als optische Signale mit der ersten Polarisierung.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung betrifft diese einen Empfänger für den Empfang optischer Signale, mit zumindest einem Wellenleiter, welchem ein optisches Eingangssignal zuführbar ist, zumindest einem ersten Photodioden-Mesa, mit zumindest einer ersten Kontaktschicht, welche auf einer Teilfläche des Wellenleiters angeordnet ist und zumindest einer Absorptionsschicht, welche zumindest auf einer Teilfläche der ersten Kontaktschicht angeordnet ist und zumindest einer zweiten Kontaktschicht welche auf der Absorptionsschicht angeordnet ist, wobei der Empfänger zumindest einen zweiten Photodioden-Mesa enthält, welcher zumindest eine erste Kontaktschicht, eine Absorptionsschicht und eine zweite Kontaktschicht enthält, wobei die erste Kontaktschicht auf einer Teilfläche des Wellenleiters angeordnet ist und die zumindest eine Absorptionsschicht auf zumindest einer Teilfläche der ersten Kontaktschicht angeordnet ist und die zweite Kontaktschicht auf der Absorptionsschicht angeordnet ist, wobei der zweite Photodioden-Mesa relativ zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes im Wellenleiter hinter dem ersten Photodioden-Mesa angeordnet ist, wobei Absorptionsschicht des ersten Photodioden-Mesa zumindest eine Quantentopfstruktur enthält oder daraus besteht, und der erste Photodioden-Mesa dazu eingerichtet ist, Licht mit einer ersten Polarisierungsrichtung stärker zu absorbieren als Licht einer zweiten Polarisierungsrichtung.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann der zweite Photodioden-Mesa relativ zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes im Wellenleiter hinter dem ersten Photodioden-Mesa angeordnet sein. Dies bewirkt, dass bei hinreichendem Volumen des ersten Photodioden-Mesa die erste Signalkomponente weitgehend durch Absorption in der Absorptions-

schicht des ersten Photodioden-Mesa aus dem Wellenleiter entfernt wird, sodass dem zweiten Photodioden-Mesa überwiegend die zweite Signalkomponente zugeführt wird. Eine geringe verbleibende Intensität der ersten Signalkomponente erzeugt im zweiten Photodioden-Mesa ebenfalls ein elektrisches Signal.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung ist zumindest der erste Photodioden-Mesa und der zweite Photodioden-Mesa und der Wellenleiter auf einem Substrat monolithisch integriert. Das Substrat kann beispielsweise Indiumphosphit, Galliumarsenid, Silicium, Siliciumcarbid oder Saphir enthalten oder daraus bestehen. Daneben kann das Substrat zumindest einen Dotierstoff enthalten, um eine vorgebbare elektrische Leitfähigkeit. Daneben kann das Substrat unvermeidliche Verunreinigungen enthalten, beispielsweise Sauerstoff, Wasserstoff oder Kohlenstoff.

Der Wellenleiter und die einzelnen Schichten des ersten Photodioden-Mesa und des zweiten Photodioden-Mesa können mit an sich bekannten mikroelektronischen Verfahren auf dem Substrat erzeugt werden. Beispielsweise können einzelne Schichten durch Spincoating, Sputtern, galvanische Verfahren oder ähnliche, an sich bekannte Dünnschichtverfahren aufgebracht werden und durch Photolithographie und nachfolgendem nass- oder trockenchemischen Ätzen strukturiert werden. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann auf dem Substrat zusätzlich zumindest ein elektrischer bzw. elektronischer Schaltkreis monolithisch integriert sein. Der elektronische Schaltkreis kann beispielsweise eine Signalverstärkung, eine Diskriminierung, eine D/A-Wandlung, eine digitale Signalprozessierung oder weitere, an sich bekannte Modifikationen des Signals durchführen. Auf diese Weise ergibt sich ein kompakter Aufbau des erfindungsgemäßen Empfängers, welcher hierdurch eine größere Betriebssicherheit aufweisen kann. Darüber hinaus kann der vorgeschlagene Empfänger kostengünstig als Massenprodukt in großen Stück-

zahlen hergestellt werden, wodurch sich erweiterte Einsatzmöglichkeiten ergeben.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die erste Kontaktschicht des ersten Photodioden-Mesa und die erste Kontaktschicht des zweiten Photodioden-Mesa elektrisch leitfähig miteinander verbunden sein. Dies ermöglicht die elektrische Signalauslese mit einer geringeren Anzahl von Leitungen, da für eine Mehrzahl von Photodioden nur noch eine gemeinsame Masseleitung und eine jeweils zugeordnete Signalleitung benötigt wird. Hierdurch kann eine größere Anzahl von Photodioden auf einem Substrat integriert oder Substratoberfläche eingespart werden, sodass eine größere Anzahl von Empfängern gleichzeitig auf einem Substrat hergestellt werden kann.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die erste Kontaktschicht des ersten Photodioden-Mesa und die erste Kontaktschicht des zweiten Photodioden-Mesa aus Teilflächen einer einzigen Kontaktschicht gebildet sein. Hierdurch kann die Strukturierung der ersten Kontaktschicht einfacher durchgeführt werden oder bei selektiver Abscheidung der Kontaktschicht ganz entfallen. Dies erlaubt Herstellungsverfahren mit einer geringeren Anzahl von Photolithographie-masken, welche dadurch rascher und kostengünstiger durchführbar sind.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung enthält der Empfänger eine Mehrzahl von ersten Photodioden-Mesa und/oder eine Mehrzahl von zweiten Photodioden-Mesa. Hierdurch kann jede Signalkomponente mehrfach redundant ausgelesen werden, sodass die Signale mit größerer Genauigkeit rekonstruiert werden können. In anderen Ausführungsformen der Erfindung können optische Modulationsverfahren verwendet werden, welche mehrere Bits in einer Symboldauer übertragen. In diesem Fall kann eine Mehrzahl von ersten und/oder zweiten

Photodioden-Mesa dazu verwendet werden, unterschiedliche Bits zu rekonstruieren.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann der Wellenleiter ein Rippenwellenleiter sein oder zumindest abschnittsweise einen Rippenwellenleiter enthalten. Ein solcher Rippenwellenleiter lässt sich besonders einfach auf einem Substrat integrieren, erlaubt eine hinreichend gute Übertragungsqualität und ermöglicht eine evaneszente Kopplung der optischen Signale zum Photodioden-Mesa.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann der Wellenleiter ein Monomode-Wellenleiter sein. Somit wird nur eine einzige optische Mode im Wellenleiter geführt, was den Anteil der optischen Untergrundsignale an der gesamten optischen Leistung reduziert.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann zumindest die Absorptionsschicht zumindest des ersten Photodioden-Mesa einen Schichtaufbau aus abwechselnd angeordneten Einzelschichten enthalten, wobei eine Schicht jeweils $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ oder $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ enthält oder daraus besteht. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann x aus dem Intervall von etwa 0,5 bis etwa 0,8 und y aus dem Intervall von etwa 0,6 bis 1 gewählt sein. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine Einzelschicht etwa 4 nm bis etwa 15 nm Dicke aufweisen. Es wurde erkannt, dass die genannten Materialien in besonders einfacher Weise die Ausbildung von abwechselnd angeordneten Barrierschichten und Leitschichten ermöglichen. Hierdurch kann die geforderte Bandstruktur bereitgestellt werden, welche eine polarisationsabhängige Absorption des optischen Eingangssignals im Photodioden-Mesa ermöglicht.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die Anzahl der Einzelschichten in der Absorptionsschicht zwischen 2 und 50 betragen. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann

die Anzahl der Einzelschichten etwa 10 bis etwa 40 betragen. Die Anzahl der Einzelschichten ermöglicht die Anpassung des zur Verfügung stehenden Volumens der Absorptionsschicht ohne die Dicke der Einzelschichten und damit deren Bandstruktur zu verändern.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann im ersten Photodioden-Mesa Licht der ersten Polarisation um etwa 5 dB bis etwa 20 dB stärker absorbiert werden als Licht der zweiten Polarisation. Es wurde erkannt, dass selbst eine nur teilweise optische Trennung der Signalkomponente hinreichend ist, um die im jeweiligen optischen Signal transportierten Daten zu rekonstruieren. Der für eine vollständige optische Trennung der Signalkomponenten erforderliche Aufwand ist nicht zwingend erforderlich, sodass der Empfänger einfach herstellbar ist.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Figuren ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens näher erläutert werden. Dabei zeigt

Figur 1 einen Querschnitt durch eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Empfängers.

Figur 2 zeigt die Aufsicht auf eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Empfängers.

Figuren 1 und 2 zeigen die Struktur einer integrierten optischen Komponente, welche in einem Empfänger gemäß der vorliegenden Erfindung verwendbar ist bzw. einen solchen Empfänger darstellt.

Der Empfänger ist auf einem Substrat 10 aufgebaut. Das Substrat 10 kann beispielsweise Indiumphosphit oder Silicium enthalten oder daraus bestehen. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann eine Mehrzahl von Substraten miteinander

verbunden werden, beispielsweise durch Waferbonden, um optische und elektronische Komponenten zu integrieren.

Das Substrat 10 weist eine erste Seite 101 und eine gegenüberliegende zweite Seite 102 auf. Das Substrat 10 kann ein monokristallines Substrat sein und neben dem Grundwerkstoff Verunreinigungen und/oder Dotierstoffe enthalten.

Auf einer Teilfläche der zweiten Seite 102 ist ein Wellenleiter 2 angeordnet. Der Wellenleiter 2 kann beispielsweise als Rippenwellenleiter ausgeführt werden. Zur Herstellung des Wellenleiters kann eine Schicht aus InGaAsP auf das Substrat abgeschieden und photolithographisch strukturiert werden. Durch Anpassen der Zusammensetzung des Materials kann neben der Bandlückenenergie und der Gitterkonstanten auch der Brechungsindex an einen gewünschten Sollwert angepasst werden.

Der Wellenleiter 2 weist eine erste Seite 21 und eine gegenüberliegende zweite Seite 22 auf. Der Wellenleiter 2 wird so auf dem Substrat 10 erzeugt, dass die erste Seite 21 mittelbar oder unmittelbar auf der zweiten Seite 102 des Substrates 10 angeordnet ist.

Orthogonal zu der ersten Seite 21 und der zweiten Seite 22 des Wellenleiters befindet sich eine Stirnseite 25, durch welche Licht als optisches Eingangssignal in den Wellenleiter 2 eingekoppelt werden kann. Das Licht wird an den Begrenzungsflächen des Wellenleiters 2 totalreflektiert, sodass dieses entlang der Längserstreckung des Wellenleiters 2 propagiert.

Auf einer Teilfläche der zweiten Seite 22 des Wellenleiters 2 ist ein erster Photodioden-Mesa 3 angeordnet. Der erste Photodioden-Mesa enthält zumindest eine erste Kontaktschicht 31, eine zweite Kontaktschicht 32 und eine dazwischen angeordnete Absorptionsschicht 33.

Die erste Kontaktschicht 31 weist eine erste Seite 311 und eine gegenüberliegende zweite Seite 312 auf. Die erste Seite 311 kann direkt oder indirekt auf der zweiten Seite 22 des Wellenleiters 2 angeordnet sein. Die erste Kontaktschicht 31 kann InGaAsP enthalten oder daraus bestehen, wobei die elementare Zusammensetzung im Vergleich zum Wellenleiter 2 modifiziert ist. Hierdurch kann die erste Kontaktschicht 31 einen größeren Brechungsindex aufweisen als das Material des Wellenleiters 2. Dies bewirkt eine evaneszente Kopplung des im Wellenleiter 2 geführten optischen Signals, sodass dieses den Wellenleiter 2 verlassen und über die erste Kontaktschicht 31 in die Absorptionsschicht 33 eindringen kann.

Die erste Kontaktschicht 31 weist eine erste Leitfähigkeit auf. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die erste Leitfähigkeit eine n-Leitfähigkeit sein, welche durch Dotierung des Materials der ersten Kontaktschicht 31 erzielt wird. In diesem Fall ist die zweite Kontaktschicht 32 aus einem p-leitfähigen Material gebildet. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann jedoch auch die erste Kontaktschicht 31 eine p-Leitfähigkeit aufweisen und die zweite Kontaktschicht 32 eine n-Leitfähigkeit. Wesentlich ist, dass die in der Absorptionsschicht 33 generierte Ladung über die Kontaktschichten 31 und 32 abgeführt werden kann.

Die Absorptionsschicht 33 weist eine erste Seite 331 auf, welche auf der zweiten Seite 312 der ersten Kontaktschicht 31 angeordnet ist. Die Absorptionsschicht 33 ist aus einer Mehrzahl von Barrierschichten und Leitschichten zusammengesetzt, sodass sich die gewünschte Quantentopfstruktur ergibt. Die Quantentopfstruktur bewirkt eine polarisationsabhängige Absorption von Licht in der Absorptionsschicht 33, sodass nur eine Signalkomponente eines aus zwei orthogonalen Polarisationskomponenten zusammengesetzten optischen Signals im ersten Photodioden-Mesa 3 absorbiert wird bzw. diese erste Komponente wird im

Photodioden-Mesa 3 verstärkt absorbiert. Der Unterschied der Absorption der ersten und der zweiten Signalkomponente kann beispielsweise etwa 5 dB bis etwa 20 dB betragen.

Die Absorptionsschicht 33 weist eine zweite Seite 332 auf, auf welcher die erste Seite der Kontaktschicht 32 angeordnet ist. Auf der gegenüberliegenden zweiten Seite 322 der Kontaktschicht 32 können weitere Schichten angeordnet sein, beispielsweise Metallisierungen oder Passivierungsschichten.

In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann die zweite Kontaktschicht 32 und die Absorptionsschicht 33 eine geringere Fläche aufweisen als die erste Kontaktschicht 31. Dies bedeutet, die Absorptionsschicht 33 bedeckt nur eine Teilfläche der zweiten Seite 312 der ersten Kontaktschicht 31. Hierdurch kann ein Vorlaufgebiet 315 ausgebildet werden, welches die optische Kopplung zwischen der Absorptionsschicht 33 und dem Wellenleiter 2 verbessern kann.

Aufgrund der selektiven Absorption kann an der ersten Kontaktschicht 31 und der zweiten Kontaktschicht 32 des ersten Photodioden-Mesa 3 ein elektrisches Signal ausgelesen werden, welches einer Signalkomponente des optischen Signals im Wellenleiter 2 entspricht. Zur Auslese der zweiten Signalkomponente, welche eine andere Polarisation aufweist, steht ein zweiter Photodioden-Mesa 4 zur Verfügung. Der zweite Photodioden-Mesa 4 weist ebenfalls zumindest eine erste Kontaktschicht 41, eine zweite Kontaktschicht 42 und eine Absorptionsschicht 43 auf. Die Absorptionsschicht 43 kann ein intrinsisches, d. h. nominell undotiertes Halbleitermaterial sein oder, wie in Figur 1 dargestellt, ebenfalls eine aus einer Mehrzahl von Schichten 431 und 432 zusammengesetzte Quantentopfstruktur aufweisen. Dementsprechend weist der zweite Photodioden-Mesa 4 den Aufbau einer an sich bekannten Photodiode auf oder der zweite Photodioden-Mesa 4 hat einen ähnlichen Aufbau wie der

vorstehend beschriebene erste Photodioden-Mesa 3. Die Bandstruktur der Absorptionsschicht 43 wird in diesem Fall so modifiziert, dass der zum ersten Signalanteil orthogonale zweite Signalanteil des optischen Signals im zweiten Photodioden-Mesa 4 absorbiert wird.

Die erste Kontaktschicht 31 des ersten Photodioden-Mesa 3 und die erste Kontaktschicht 41 des zweiten Photodioden-Mesa 4 kann an einer Stelle 314 elektrisch voneinander getrennt sein bzw. die ersten Kontaktschichten 31 und 41 können als separate Kontaktschichten ausgebildet sein. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann eine einzige Kontaktschicht 5 verwendet werden. Eine erste Teilfläche der Kontaktschicht 5 bildet dann die erste Kontaktschicht 31, wohingegen eine zweite Teilfläche der Kontaktschicht 5 eine erste Kontaktschicht 41 bildet. Dies erlaubt eine besonders einfache elektrische Signalauslese mit einer gemeinsamen Masseleitung.

Es ist darauf hinzuweisen, dass in Figur 1 und Figur 2 gezeigte Ausführungsform lediglich das Funktionsprinzip der Erfindung erläutert. Die Erfindung lehrt nicht die Verwendung von genau zwei Photodioden-Mesa 3 und 4 als Lösungsprinzip. In Abhängigkeit der für das optische Signal verwendeten Modulation und in Abhängigkeit der elektrischen Signalauslese kann auch eine größere Anzahl von Photodioden-Mesa verwendet werden. Weiterhin ist die Erfindung nicht auf die Anwendung in der optischen Nachrichtentechnik beschränkt. In einigen Ausführungsformen der Erfindung kann eine oder beide Signalkomponenten des optischen Eingangssignals auch unmoduliert sein.

Nachfolgend soll die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Betrachtet wird ein Photodioden-Mesa mit einer Breite von 5 μm und einer Längsausdehnung von 30 μm . Der Photodioden-Mesa ist auf einer n-leitfähigen Kontaktschicht angeordnet, welche auf

der zweiten Seite eines Rippenwellenleiters aufgebracht ist. Die Absorptionsschicht 33 der Photodiode enthält insgesamt 60 Einzelschichten, welche alternierend als Barrierenschichten und Leitschichten ausgebildet sind. Die Barrierenschichten weisen eine Dicke von 10 nm auf. Die Leitschichten weisen eine Dicke von 5,5 nm auf. Insgesamt sind somit 30 Paare aus Barrieren- und Leitschichten in der Absorptionsschicht 33 angeordnet. Die Barrierenschichten enthalten $\text{In}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{As}_{0,64}\text{P}_{0,36}$. Die Leitschichten enthalten $\text{In}_{0,55}\text{Ga}_{0,45}\text{As}$.

Es konnte gezeigt werden, dass dieser beispielhafte Photodioden-Mesa für ein TE-polarisiertes optisches Signal eine Responsivität von 0,943 A/W aufweist. Wird ein TM-polarisiertes optisches Signal über den Wellenleiter evaneszent in den Photodioden-Mesa eingekoppelt, so sinkt die Responsivität auf 0,073 A/W. Der polarisationsabhängige Verlust in der Photodiode beträgt somit 11,11 dB. Diese schwächere Responsivität für die TM-polarisierte Welle ist hinreichend, um die zwei TE- und TM-polarisierten Signalkomponenten eines zur optischen Datenübertragung verwendeten Eingangssignals zu trennen, auch wenn kein polarisationsabhängiger Strahlteiler im Empfänger zur Verfügung steht.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsformen beschränkt. Die vorstehende Beschreibung ist daher nicht als beschränkend, sondern als erläuternd anzusehen. Die nachfolgenden Ansprüche sind so zu verstehen, dass ein genanntes Merkmal in zumindest einer Ausführungsform der Erfindung vorhanden ist. Dies schließt die Anwesenheit weiterer Merkmale nicht aus. Sofern die Ansprüche und die vorstehende Beschreibung „erste“ und „zweite“ Merkmale definieren, so dient diese Bezeichnung der Unterscheidung zweier gleichartiger Merkmale, ohne eine Rangfolge festzulegen.

Ansprüche

1. Empfänger (1) für den Empfang optischer Signale, mit
 zumindest einem Wellenleiter (2), welchem ein
 optisches Eingangssignal zuführbar ist,
 zumindest einem ersten Photodioden-Mesa (3),
mit zumindest einer ersten Kontaktschicht (31), welche
auf einer Teilfläche des Wellenleiters (2) angeordnet
ist und zumindest einer Absorptionsschicht (33), welche
zumindest auf einer Teilfläche der ersten Kontakt-
schicht (31) angeordnet ist und zumindest einer zweiten
Kontaktschicht (32) welche auf der Absorptionsschicht
(33) angeordnet ist, wobei
 der Empfänger (1) zumindest einen zweiten
Photodioden-Mesa (4) enthält, welcher zumindest eine
erste Kontaktschicht (41), eine Absorptionsschicht (43)
und eine zweite Kontaktschicht (42) enthält, wobei die
erste Kontaktschicht (41) auf einer Teilfläche des
Wellenleiters (2) angeordnet ist und die zumindest eine
Absorptionsschicht (43) auf zumindest einer Teilfläche
der ersten Kontaktschicht (41) angeordnet ist und die
zweite Kontaktschicht (42) auf der Absorptionsschicht
(43) angeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Absorptionsschicht (33) des ersten Photo-
dioden-Mesa (3) zumindest eine Quantentopfstruktur
beinhaltet und dazu eingerichtet ist, Licht mit einer
ersten Polarisationsrichtung stärker zu absorbieren als
Licht einer zweiten Polarisationsrichtung, und
 die Absorptionsschicht (43) des zweiten
Photodioden-Mesa (4) abweichend von der Absorptions-
schicht (33) des ersten Photodioden-Mesa (3) zusammen-
gesetzt ist.
2. Empfänger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 der zweite Photodioden-Mesa (4) dazu eingerichtet ist,

Licht mit der zweiten Polarisationsrichtung stärker zu absorbieren als Licht der ersten Polarisationsrichtung.

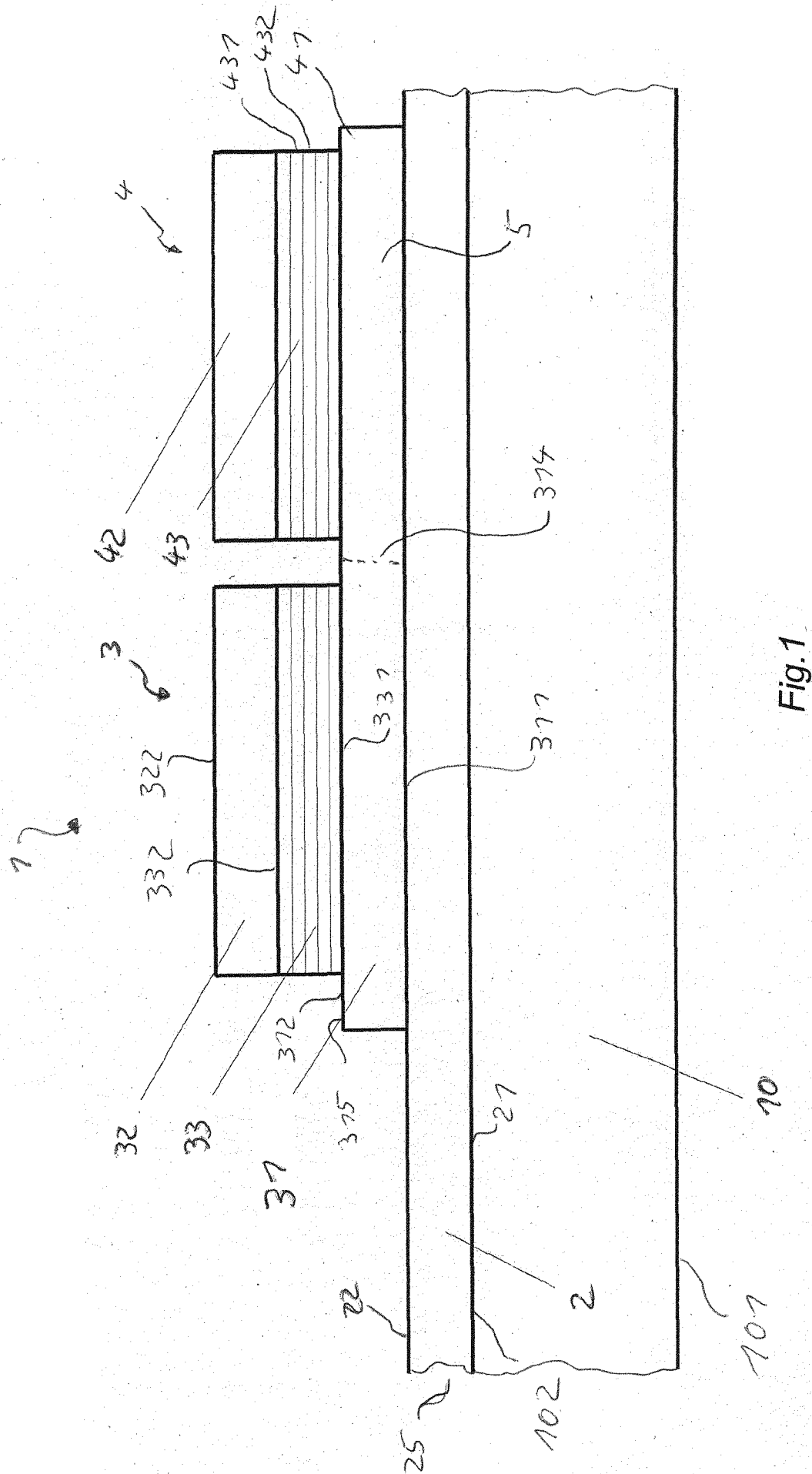
3. Empfänger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Absorption des zweiten Photodioden-Mesa (4) unabhängig von der Polarisation ist.
4. Empfänger nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Photodioden-Mesa (4) relativ zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes im Wellenleiter (2) hinter dem ersten Photodioden-Mesa (3) angeordnet ist
5. Empfänger nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Absorptionsschicht (43) des zweiten Photodioden-Mesa (4) zumindest eine Quantentopfstruktur enthält oder daraus besteht.
6. Empfänger nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest der erste Photodioden-Mesa (3) und der zweite Photodioden-Mesa (4) und der Wellenleiter (2) auf einem Substrat (10) monolithisch integriert sind.
7. Empfänger nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kontaktschicht (31) des ersten Photodioden-Mesa (3) und die erste Kontaktschicht (41) des zweiten Photodioden-Mesa (4) elektrisch leitfähig miteinander verbunden sind
8. Empfänger nach einem der Ansprüche 1 bis **Fehler!**
Verweisquelle konnte nicht gefunden werden., dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kontaktschicht (31) des ersten Photodioden-Mesa (3) und die erste Kontaktschicht (41) des zweiten Photodioden-Mesa (4) aus Teilflächen einer einzigen Kontaktschicht (5) gebildet sind.
9. Empfänger nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellenleiter (2) einen

Rippenwellenleiter enthält oder daraus besteht und/oder dass der Wellenleiter (2) ein Monomode-Wellenleiter ist.

10. Empfänger nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Absorptionsschicht (33) zumindest des ersten Photodioden-Mesa (3) einen Schichtaufbau aus abwechselnd angeordneten Einzelschichten (431, 432) enthält, wobei eine Schicht jeweils InGaAsP oder InGaAs enthält oder daraus besteht und eine Einzelschicht (431, 432) etwa 4 nm bis etwa 15 nm Dicke aufweist.
11. Verfahren zum Empfang optischer Signale, bei welchem
zumindest einem Wellenleiter (2) ein optisches Eingangssignal zugeführt wird, wobei
das optische Eingangssignal einen ersten Signalanteil enthält, welcher eine erste Polarisierung aufweist und einen zweiten Signalanteil enthält, welcher eine zweite Polarisierung aufweist, wobei
zumindest ein Signalanteil zumindest einen Datenstrom repräsentiert, und
das optische Eingangssignal in zumindest einen ersten Photodioden-Mesa (3) einkoppelt, wobei Licht der ersten Polarisierung stärker absorbiert wird als Licht der zweiten Polarisierung, und ein die absorbierte optische Leistung repräsentierendes elektrisches Signal erzeugt wird, und bei welchem
das optische Eingangssignal nachfolgend in
zumindest einen zweiten Photodioden-Mesa (4) einkoppelt, wobei ein die absorbierte optische Leistung repräsentierendes elektrisches Signal erzeugt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Eingangssignal zumindest in den ersten Photodioden-Mesa (3) evaneszent einkoppelt.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass im zweiten Photodioden-Mesa (4) Licht

der zweiten Polarisation stärker absorbiert wird als Licht der dazu orthogonalen ersten Polarisation.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass im ersten Photodioden-Mesa (3) Licht der ersten Polarisation um etwa 5 dB bis etwa 20 dB stärker absorbiert wird als Licht der zweiten Polarisation.



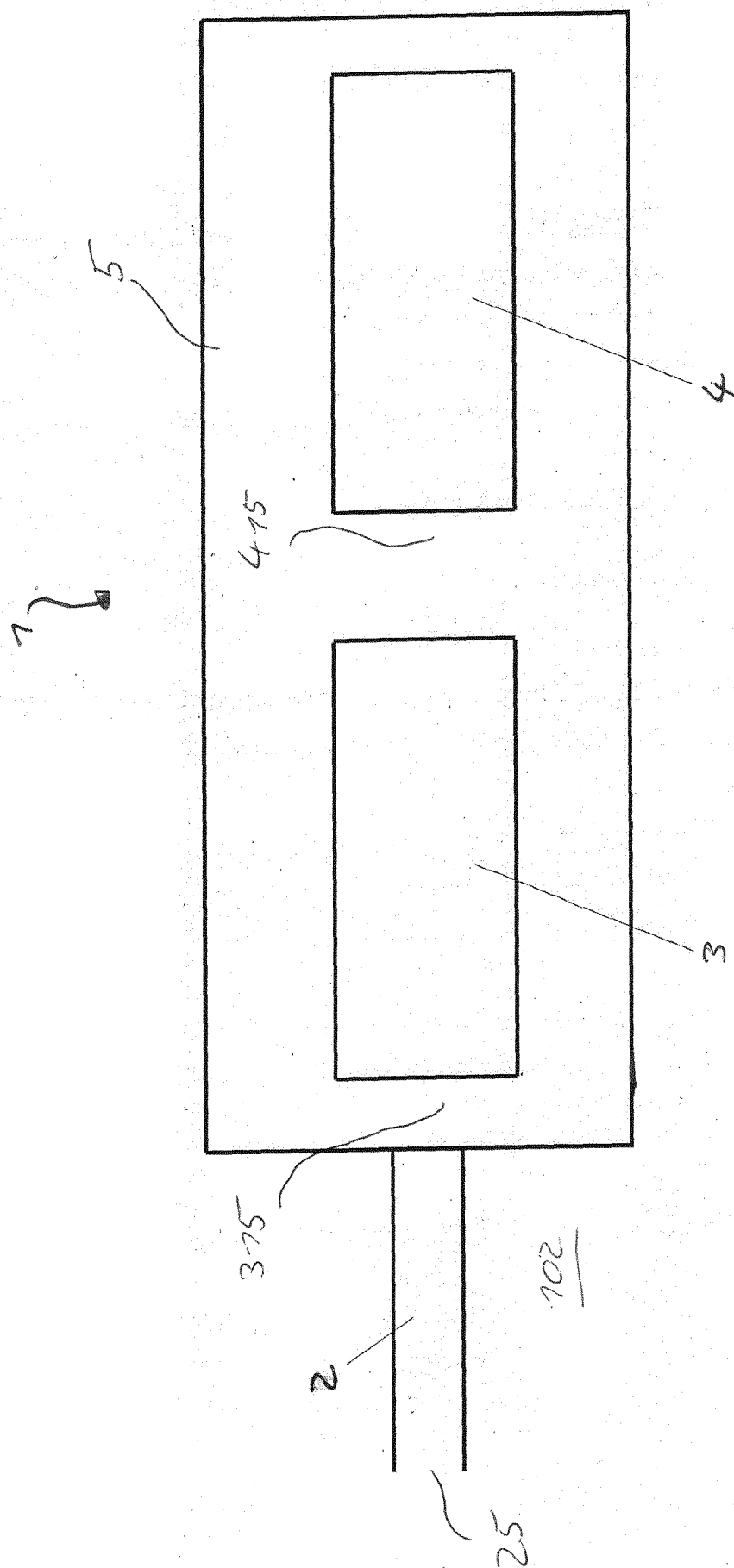


Fig.2