



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 013 514.7**  
(22) Anmeldetag: **20.10.2015**  
(43) Offenlegungstag: **20.04.2017**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **18.04.2024**

(51) Int Cl.: **H01L 31/05** (2006.01)  
**H01L 31/09** (2006.01)  
**H01L 31/0725** (2012.01)  
**H01L 31/0735** (2012.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**AZUR SPACE Solar Power GmbH, 74072  
Heilbronn, DE**

(74) Vertreter:  
**Koch-Müller Patentanwalts-gesellschaft mbH,  
69123 Heidelberg, DE**

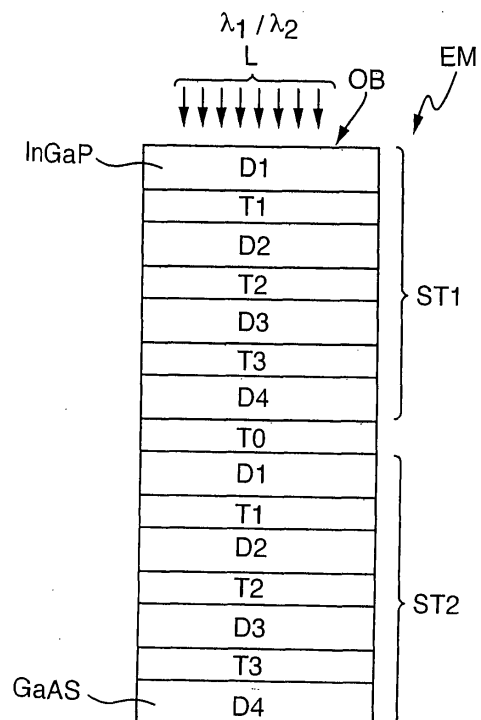
(72) Erfinder:  
**Guter, Wolfgang, Dr., 70190 Stuttgart, DE;  
Fuhrmann, Daniel, Dr., 74081 Heilbronn, DE;  
Peper, Christoph, Dr., 30173 Hannover, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

(54) Bezeichnung: **Optischer Empfängerbaustein**

(57) Hauptanspruch: Optischer Empfängerbaustein (EM), wobei der Empfängerbaustein (EM) eine erste Art von Teilspannungsquelle (VQ1) mit einer ersten Absorptionskante und eine zweite Art von Teilspannungsquelle (VQ2) mit einer zweiten Absorptionskante aufweist, die erste Absorptionskante bei einer höheren Energie liegt als die zweite Absorptionskante, jede der Teilspannungsquellen (VQ1, VQ2) eine Teilspannung erzeugt und die beiden Teilspannungsquellen (VQ1, VQ2) in Serie verschaltet sind, wobei

- die erste Art einen ersten Stapel ausbildet und die zweite Art einen zweiten Stapel ausbildet,
- zwischen den beiden Stapeln der Unterschied in der Absorptionskante wenigstens 50 nm beträgt,
- beide Stapel in einem einzigen Gehäuse integriert sind, um einen Mehrfarbenempfänger auszubilden,
- von der ersten Art eine erste Anzahl N1 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen und von der zweiten Art eine zweite Anzahl N2 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen vorgesehen ist, wobei die erste Anzahl N1 und die zweite Anzahl N2 größer als drei ist,
- bei beiden Arten die jeweilige Abweichung der Quellenspannungen der Unterteilspannungsquellen untereinander kleiner als 20% ist, und jede der Unterteilspannungsquellen eine Halbleiterdiode (D1 - D5) mit einem p-n Übergang aufweist und
- zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Unterteilspannungsquellen eine Tunnelodiode ausgebildet ist, wobei
  - die Unterteilspannungsquellen und die Tunnelioden (T1 - T4) einer jeden Art stapelförmig monolithisch integriert sind und jede stapelförmig monolithisch integrierte Art eine Oberseite und eine Unterseite aufweist.



(56) Ermittelte Stand der Technik:

US	2006 / 0 048 811	A1
US	2010 / 0 059 097	A1
US	2012 / 0 266 803	A1
US	2015 / 0 162 478	A1
EP	1 109 230	A2
EP	1 134 813	A2
EP	1 936 700	A2

**FRIEDMAN, D. J. [u.a.] : GaInNAs Junctions for Next-Generation Concentrators: Progress and Prospects. In: Proceedings of the International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, 2005, S. 1 - 5.**

**SCHUBERT, J. [u.a.]: High-voltage GaAs photovoltaic laser power converters. In: IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 56, 2009, Nr. 2, S. 170 - 175. - ISSN 0018-9383**

**YUAN, Y. [u.a.]: Responses of Thin Film Photovoltaic Cell to Irradiation under Double Laser Beams of Different Wavelength. In: Materials Science Forum, 2013, vols. 743 - 744, S. 937 - 942 - ISSN: 1662-9752.**

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen optischen Empfängerbaustein.

**[0002]** Ein optischer Empfängerbaustein ist aus der DE 103 50 112 A1 bekannt. Des Weiteren sind aus der US 4 127 862 A, der US 6 239 354 B1, der DE 10 2010 001 420 A1, aus Nader M. Kalkhoran, et al, „Cobalt disilicide intercell ohmic contacts for multijunction photovoltaic energy converters“, Appl. Phys. Lett. 64, 1980 (1994) und aus A. Bett et al, „III-V Solar cells under monochromatic illumination“, Photovoltaic Specialists Conference, 2008, PVSC '08. 33rd IEEE, Seite 1-5, ISBN:978-1-4244-1640-0 weitere optische Empfängerbausteine und skalierbare Spannungsquellen aus III-V Materialien bekannt.

**[0003]** Ferner sind weitere optische Empfängerbausteine aus der US 4 996 577 A bekannt. Auch aus der US 2006 /0048811 A1, der US 8 350 208 B1 und der WO 2013/ 067969 A1 sind optische Bauelemente bekannt.

**[0004]** Aus der EP 1 109 230 A2, der US 2010 / 0 059 097 A1, aus Schubert [2009] „High Voltage GaAs photovoltaic laser power converters“, der EP 1 936 700 A2, der US der 2015 / 0 162 478 A1, der US 2012 / 266 803 A1 und aus „Responses of Thin Film Photovoltaic Cell to Irradiation under Double Laser Beams of Different Wavelength“, Yuchen Yuan et al., Materials Science Forum, 2013, Vol. 743-744, S. 937-942 sind weitere optische Bauelemente, insbesondere auch Solarzellen bekannt.

**[0005]** Aus der EP 1 134 813 A1 sowie aus „Galn-NAs Junctions for Next-Generation Concentrators: Progress and Prospects“, D.J. Friedman et al., Proceedings of the International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity of Hydrogen, 2005, S. 1-5 sind Mehrfachsolarzellen bekannt, wobei jeweils mindestens eine Teilzelle zur Stromanpassung durch zwei Teilzellen desselben Materials ersetzt wurde.

**[0006]** Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Vorrichtung anzugeben, die den Stand der Technik weiterbildet.

**[0007]** Die Aufgabe wird durch einen optischen Empfängerbaustein mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

**[0008]** Gemäß dem Gegenstand der Erfindung weist ein optischer Empfängerbaustein eine erste Art von Teilspannungsquelle mit einer ersten Absorptionskante und eine zweite Art von Teilspannungsquelle mit einer zweiten Absorptionskante auf,

wobei die erste Absorptionskante bei einer höheren Energie liegt als die zweite Absorptionskante und jede der Teilspannungsquellen eine Teilspannung erzeugt, sofern auf die Teilspannungsquelle ein Photonenstrom mit einer bestimmten Wellenlänge trifft und die beiden Teilspannungsquellen in Serie verschaltet sind, wobei von der ersten Art eine erste Anzahl N1 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen und von der zweiten Art eine zweite Anzahl N2 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen vorgesehen ist, wobei die erste Anzahl N1 und /oder die zweite Anzahl N2 größer als eins ist, und bei beiden Arten die jeweilige Abweichung der Quellenspannungen der Unterteilspannungsquellen untereinander kleiner als 20% ist, und jede der Unterteilspannungsquellen eine Halbleiterdiode mit einem p-n Übergang aufweist, und zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Unterteilspannungsquellen eine Tunneldiode ausgebildet ist, wobei die Unterteilspannungsquellen und die Tunneldioden einer jeden Art stapelförmig monolithisch integriert sind und jede stapelförmig monolithisch integrierte Art eine Oberseite und eine Unterseite aufweist.

**[0009]** Es sei angemerkt, dass mit dem Begriff monolithisch integriert aufeinander gestapelte Halbleiterschichten bezeichnet werden, welche vorzugsweise in einem epitaktischen Prozess nacheinander abgeschieden werden. Es versteht sich, dass mit dem Begriff der einen Art, d.h. der ersten Art und der zweiten Art, jeweils Unterteilspannungsquellen innerhalb der einen Art bezeichnet sind, ein Halbleitermaterial aufweisen, welche innerhalb der jeweiligen Art die gleiche oder nahezu die gleiche Absorptionskante aufweist. Auch sei angemerkt, dass jede Art einen Stapel ausbildet. Anders ausgedrückt bildet die erste Art einen ersten Stapel und die zweite Art einen zweiten Stapel aus. Zwischen den beiden Stapeln beträgt der Unterschied in den Absorptionskanten wenigstens 50 nm, wobei der erste Stapel immer eine Absorptionskante bei kleineren Wellenlängen als der zweite Stapel aufweist. Infolge ist bei einer stapelförmigen Anordnung der erste Stapel immer oberhalb des zweiten Stapels angeordnet, d.h. das Licht tritt in den ersten Stapel ein, durchläuft den ersten Stapel und trifft mit dem nicht in dem ersten Stapel absorbierten Anteil auf den zweiten Stapel.

**[0010]** Es versteht sich, dass die erste Art ganz grundsätzlich ein anderes Halbleitermaterial als die zweite Art aufweist, wobei die erste Art die höhere Absorptionskante oder größere Bandlückenenergie als die zweite Art aufweist und in dem ersten Stapel Licht mit einer kürzeren Wellenlänge als in dem zweiten Stapel absorbiert wird. Vorzugsweise umfassen die Teilspannungsquellen als Halbleitermaterial ein III-V Material.

**[0011]** Ein Vorteil ist, dass mit der Integration von zwei Stapeln in einem einzigen Gehäuse verschiedene Lichtfarben empfangen und jeweils in eine Spannung umgewandelt werden. Werden die beiden Stapel in Serie verschaltet, erhöht sich die Gesamtspannung. Auch lässt sich ein sehr platzsparender und kostengünstiger Aufbau für einen Mehrfarbempfänger erzielen. Ein weiterer Vorteil ist, dass mit der hohen Spannung des Empfängerbausteins ein Bauelement, beispielsweise in Form eines MOSFET ansteuern lässt.

**[0012]** In einer Ausführungsform ist die erste Anzahl  $N_1$  und / oder die zweite Anzahl  $N_2 \geq$  drei. Hierdurch lassen sich mit jedem Stapel hohe Spannungen erzeugen.

**[0013]** In einer Weiterbildung ist bei beiden Arten die jeweilige Abweichung der Quellenspannungen der Unterteilspannungsquellen untereinander kleiner als 10%.

**[0014]** In einer Weiterbildung umfassen die Halbleiterdioden innerhalb einer Art jeweils das gleiche Halbleitermaterial. Vorzugsweise umfasst das erste Halbleitermaterial eine Verbindung aus wenigstens den Elementen InGaP und/oder AlGaAs und das zweite Halbleitermaterial umfasst eine Verbindung aus wenigstens den Elementen GaAs oder InGaAs.

**[0015]** In einer anderen Ausführungsform besteht das erste Halbleitermaterial aus der InGaP Verbindung und das zweite Halbleitermaterial aus der GaAs oder aus der InGaAs-Verbindung, d.h. die Verbindungen weisen keine anderen Verbindungselemente auf. Es versteht sich jedoch, dass die Verbindungen im Allgemeinen Dotierstoffe und teilweise auch unerwünschte Verunreinigungen aufweisen.

**[0016]** In einer anderen Weiterbildung sind die erste Art von Unterteilspannungsquellen als erster Stapel und die zweite Art von Unterteilspannungsquellen als zweiter Stapel gemeinsam monolithisch integriert und bilden einen gemeinsamen Stapel, d.h. einen Gesamtstapel aus. Es versteht sich, dass zwischen dem ersten Stapel und dem zweiten Stapel eine Tunnelodiode ausgebildet ist und der Stromfluss durch den gesamten Stapel fließt, d.h. die einzelnen Schichten bilden eine Reihenschaltung aus.

**[0017]** In einer anderen Ausführungsform bilden die erste Art von Teilspannungsquellen und die zweite Art von Teilspannungsquellen zwei nebeneinander angeordnete Stapel aus, d.h. der erste Stapel ist neben dem zweiten Stapel angeordnet. Die beiden Stapel sind vorzugsweise auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet. Hierbei lassen sich die beiden Stapel in Reihe verschalten.

**[0018]** In einer weiteren Ausführungsform sind die beiden Arten stapelförmig aufeinander angeordnet, wobei zwischen den beiden Stapeln eine plattenförmige Isolatorschicht, d.h. ein Isolator mit einer Dicke kleiner als 1mm ausgebildet ist. Hierbei sind die beiden Stapel in Reihe verschaltet und der erste Stapel auf dem zweiten Stapel angeordnet und das nicht von dem ersten Stapel absorbierte Licht trifft auf den zweiten Stapel.

**[0019]** In einer Weiterbildung liegt die erste Absorptionskante unterhalb 750 nm und die zweite Absorptionskante oberhalb 820 nm. In einer anderen Weiterbildung liegt eine der beiden Absorptionskanten oberhalb 1000 nm.

**[0020]** In einer Weiterbildung weist bei der ersten Art und / oder bei der zweiten Art die jeweilige Grundfläche des Halbleiterstapels eine viereckige Form auf, wobei die größte Kantenlänge des jeweiligen Vierecks kleiner als 2 mm und die Fläche kleiner als 4 mm<sup>2</sup> oder kleiner als 2 mm<sup>2</sup> ist.

**[0021]** In einer anderen Ausführungsform weisen die Halbleiterdioden von beiden Arten der Unterteilspannungsquellen eine p-dotierte Absorptionsschicht auf, wobei die p-Absorptionsschicht von einer p-dotierten Passivierungsschicht mit einer größeren Bandlücke als die Bandlücke der p-Absorptionsschicht passiviert ist und die Halbleiterdioden von beiden Arten der Unterteilspannungsquellen weisen eine n-dotierte Absorptionsschicht auf, wobei die n-Absorptionsschicht von einer n-dotierten Passivierungsschicht mit einer größeren Bandlücke als die Bandlücke der n-Absorptionsschicht passiviert ist.

**[0022]** In einer Weiterbildung weist mindestens eine der Tunnelioden mehrere Halbleiterschichten mit einer höheren Bandlücke als die Bandlücke der p / n Absorptionsschichten auf, wobei die Halbleiterschichten mit der höheren Bandlücke jeweils aus einem Material mit geänderter Stöchiometrie und / oder anderer Elementzusammensetzung als die p / n -Absorptionsschichten der Halbleiterdiode bestehen.

**[0023]** In einer Ausführungsform trifft das Licht an der Oberseite auf die Oberfläche auf, wobei die Größe der beleuchteten Oberfläche im Wesentlichen der Größe der Fläche der Oberseite entspricht.

**[0024]** In einer anderen Weiterbildung weist jede Art eine Stapeldicke kleiner als 12µm auf, wobei bei 300 K die Spannung der Teilquellenspannungen des ersten und / oder zweiten Stapels größer als 2,2 Volt ist, sofern Licht mit einer Wellenlänge kleiner als die Absorptionskante auftrifft, und wobei in Lichteinfallrichtung von der Oberseite hin zu der Unterseite jedes Stapels die Gesamtdicke der p und n -Absorp-

tionsschichten einer Halbleiterdiode von der obersten Halbleiterdiode hin zu der untersten Halbleiterdiode zunimmt.

**[0025]** In einer Ausführungsform weisen die Teilspannungsquellen in der Nähe der Unterseite einen umlaufenden, absatzförmigen Rand auf. Mit dem absatzförmigen Rand wird bei der Metallisierung ein Kurzschluss bei den Dioden unterdrückt.

**[0026]** In einer Ausführungsform weist mindestens eine der Unterteilspannungsquellen der Teilspannungsquellen der ersten und/oder der zweiten Art eine Halbleiterdiode mit einem p-i-n Übergang auf. Anders ausgedrückt wird zwischen der p-Halbleiterschicht und der n-Halbleiterschicht eine intrinsische Halbleiterschicht ausgebildet. Vorzugsweise ist die intrinsische Halbleiterschicht undotiert ausgebildet. Es versteht sich jedoch, dass intrinsische Schichten immer eine sogenannte Hintergrunddotierung aufweisen, die beispielsweise bei den III-V epitaktisch hergestellten Schichten in dem Bereich  $10^{17}$  N/cm<sup>3</sup> und darunter liegt. In einer Weiterbildung weist jede der Unterteilspannungsquellen eine Halbleiterdiode mit einem p-i-n Übergang auf.

**[0027]** Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Hierbei werden gleichartige Teile mit identischen Bezeichnungen beschriftet. Die dargestellten Ausführungsformen sind stark schematisiert, d.h. die Abstände und die lateralen und die vertikalen Erstreckungen sind nicht maßstäblich und weisen, sofern nicht anders angegeben, auch keine ableitbaren geometrischen Relationen zueinander auf. Darin zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Ansicht auf eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform einer stapelförmigen Anordnung mit einer Isolatorschicht zwischen den beiden Stapeln,

**Fig. 2** eine schematische Ansicht auf eine dritte erfindungsgemäße Ausführungsform einer stapelförmigen Anordnung mit monolithischer Integration von beiden Stapeln zu einem Gesamtstapel,

**Fig. 3** eine schematische Ansicht auf eine zweite erfindungsgemäße Ausführungsform mit einer Anordnung von beiden Stapeln nebeneinander,

**Fig. 4** ein elektrisches Ersatzschaltbild des ersten Stapels in einer Ausführungsform mit drei gestapelten Halbleiterdioden,

**Fig. 5** ein elektrisches Ersatzschaltbild des ersten Stapels und des zweiten Stapels jeweils in einer Ausführungsform mit drei gestapelten Halbleiterdioden, wobei die beiden Stapeln seriell verschaltet sind,

**Fig. 6** eine schematische Ansicht auf eine Ausführungsform mit fünf monolithisch integrierten Halbleiterdioden am Beispiel des ersten Stapels, wobei die Dicke der einzelnen Halbleiterdioden zunimmt,

**Fig. 7** eine schematische Ansicht auf einen Gesamtstapel angeordnet auf einem gemeinsamen Substrat.

**[0028]** Die Abbildung der **Fig. 1** zeigt eine schematische Ansicht auf eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform eines optischen Empfängerbausteins EM mit einer stapelförmigen Anordnung von einem ersten Stapel ST1 und einem zweiten Stapel ST2. Zwischen dem ersten Stapel ST1 und dem zweiten Stapel ST2 ist eine Isolatorschicht ISO ausgebildet. Der Aufbau weist eine kraftschlüssige Verbindung auf.

**[0029]** Auf die Oberseite des ersten Stapels ST1 tritt monochromatisches oder multichromatisches Licht L. Die Oberfläche OB wird nahezu oder vollständig ausgeleuchtet. Es ist bevorzugt, dass das Licht L eine erste Wellenlänge  $\lambda_1$  und / oder eine zweite Wellenlänge  $\lambda_2$  umfasst. Es versteht sich, dass die Isolatorschicht ISO wenigstens transparent für die zweite Wellenlänge  $\lambda_2$  sein muss. Indem das Licht L in der vorliegenden Ausführungsform zuerst den ersten Stapel ST1 durchläuft, treffen auf den zweiten Stapel ST2 nur die nicht absorbierten Anteile des Lichtes auf.

**[0030]** Der erste Stapel ST1 weist an Oberseite einen ersten elektrischen Anschluss VSUP1 und an der Unterseite einen zweiten elektrischen Anschluss VSUP2 auf. Der zweite Stapel ST2 weist an Oberseite einen ersten elektrischen Anschluss VSUPZ und an der Unterseite einen zweiten elektrischen Anschluss VSUP3 auf. Der erste Stapel ST1 ist mit dem zweiten Stapel ST2 seriell verschaltet. Hierzu ist der zweite elektrische Anschluss VSUP2 des ersten Stapels ST1 mit dem ersten elektrischen Anschluss VSUPZ des zweiten Stapels ST2 verschaltet - Bezugszeichen a. Vorzugsweise ist der erste Stapel ST1 stoffschlüssig auf der Oberseite der Isolatorschicht ISO und die Unterseite der Isolatorschicht IS2 stoffschlüssig auf der Oberseite des zweiten Stapels ST2 angeordnet.

**[0031]** In dem optischen Empfängerbaustein EM sind in dem ersten Stapel ST1 eine erste Art von Unterteilspannungsquellen mit einer ersten Absorptionskante und in dem zweiten Stapel ST2 eine zweite Art von Unterteilspannungsquellen mit einer zweiten Absorptionskante ausgebildet.

**[0032]** Jede der Unterteilspannungsquellen weist eine Halbleiterdiode mit einem p-n Übergang auf. Zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Unterteilspannungsquellen ist eine Tunnelodiode ausgebil-

det, wobei die Unterteilspannungsquellen und die Tunnelndioden einer jeden Art stapelförmig monolithisch integriert sind und jede stapelförmig monolithisch integrierte Art eine Oberseite und eine Unterseite aufweist.

**[0033]** Die erste Art von Unterteilspannungsquellen bilden eine erste Teilspannungsquelle VQ1 und die zweite Art von Unterteilspannungsquellen eine zweite Teilspannungsquelle VQ2 aus. Die erste Absorptionskante liegt bei einer höheren Energie als die zweite Absorptionskante, und jede der Teilspannungsquelle erzeugt eine Teilspannung, sofern auf die Teilspannungsquelle VQ1, VQ2 ein Photonenstrom mit einer bestimmten Wellenlänge trifft. Sind die beiden Teilspannungsquellen VQ1 und VQ2 in Serie verschaltet, addieren sich die Teilspannungen der beiden Stapel ST1 und ST2 zu einer Gesamtspannung.

**[0034]** Der erste Stapel ST1 weist von der ersten Art eine erste Anzahl N1 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen und der zweite Stapel weist von der zweiten Art eine zweite Anzahl N2 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen auf, wobei die erste Anzahl N1 und /oder die zweite Anzahl N2 größer als eins ist, und bei beiden Arten die jeweilige Abweichung der Quellenspannungen der Unterteilspannungsquellen untereinander kleiner als 20% ist. Indem sich die erste Anzahl N1 und die zweite Anzahl N2 verändern lassen, sind die beiden Teilspannungsquellen VQ1, VQ2 hinsichtlich der Spannungswerte skalierbar.

**[0035]** Die Abbildung der **Fig. 2** zeigt eine schematische Ansicht des optischen Empfängerbausteins EM auf eine dritte erfindungsgemäße Ausführungsform einer stapelförmigen Anordnung mit einer monolithischen Integration von beiden Stapeln ST1 und ST2 zu einem Gesamtstapel, wobei der erste Stapel ST1 oberhalb d.h. auf dem zweiten Stapel ST2 angeordnet ist. Im Folgenden werden nur die Unterschiede zu der Abbildung der **Fig. 1** erläutert.

**[0036]** Vorliegend weist der erste Stapel ST1 die erste Anzahl N1 gleich vier Halbleiterdioden D1 bis D4 auf. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbleiterdioden D1 bis D4 ist jeweils eine der Tunnelndioden T1 bis T3 ausgebildet. Der erste Stapel ST1 befindet sich auf der der Beleuchtung zugewandten Seite des Empfängerbausteins EM. Die Halbleiterdioden des ersten Stapels umfassen ein InGaP und/oder AlGaAs-Material. Der zweite Stapel ST2 weist die zweite Anzahl N2 gleich vier Halbleiterdioden D1 bis D4 auf. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Halbleiterdioden D1 bis D4 ist jeweils eine der Tunnelndiode T1 bis T3 ausgebildet. Zwischen den beiden Stapeln ST1 und ST2 ist eine weitere Tunnelndiode T0 ausgebildet. Hinsichtlich der

Beleuchtungsrichtung befindet sich der zweite Stapel unterhalb des ersten Stapels. Die Halbleiterdioden des zweiten Stapels umfassen ein GaAs und/oder ein InGaAs-Material. Indem eine monolithische Integration vorliegt sind alle Bauelemente der beiden Stapeln ST1 und ST2 in Serie verschaltet.

**[0037]** Die Abbildung der **Fig. 3** zeigt eine schematische Ansicht auf eine zweite erfindungsgemäße Ausführungsform des optischen Empfängerbausteins EM mit nebeneinander angeordneten Stapeln ST1 und ST2. Im Folgenden werden nur die Unterschiede zu der Abbildung der **Fig. 1** erläutert.

**[0038]** Auf den ersten Stapel ST1 trifft an der Oberseite Licht L mit der ersten Wellenlänge  $\lambda_1$  und auf die Oberseite des zweiten Stapel ST2 trifft Licht L mit der zweiten Wellenlänge  $\lambda_2$  auf. Die beiden Stapel ST1 und ST2 bzw. die beiden Teilspannungsquellen VQ1 und VQ2 sind in Serie verschaltet, d.h. die Gesamtspannung lässt sich an dem ersten elektrischen Anschluss VSUP1 des ersten Stapels ST1 und an dem zweiten elektrischen Anschluss VSUP3 der Unterseite des zweiten Stapel ST2 abgreifen.

**[0039]** Die Abbildung der **Fig. 4** zeigt ein elektrisches Ersatzschaltbild des ersten Stapels ST1 bzw. der ersten Teilspannungsquelle VQ1 in einer Ausführungsform mit drei gestapelten Halbleiterdioden D1 bis D3. Der erste Stapel ST1 weist demnach eine Serienschaltung aus der ersten Diode D1 und der ersten Tunnelndiode T1 und der zweiten Diode D2 und der zweiten Tunnelndiode T2 und der dritten Diode D3 auf. An der Oberseite des ersten Stapels ST1 ist der erste Spannungsanschluss VSUP1 und an der Unterseite des ersten Stapels ST1 der zweite Spannungsanschluss VSUP2 ausgebildet.

**[0040]** Die Spannung des ersten Stapel ST1 setzt sich vorliegend im Wesentlichen aus den Unterteilspannungen der einzelnen Dioden D1 bis D3 zusammen. Hierzu muss der erste Stapel ST1 einem Photonenstrom, d.h. dem Licht L ausgesetzt sein.

**[0041]** Der erste Stapel ST1 der Dioden D1 bis D3 und der Tunnelndioden T1 und T2 ist als monolithisch ausgebildeter Block, vorzugsweise aus einem III-V-Material, ausgeführt. Die Halbleiterdioden D1 bis D3 sind dabei vorzugsweise aus dem gleichen Halbleitermaterial ausgeführt. Die Tunnelndioden T1 und T2 sind ebenfalls vorzugsweise identisch aufgebaut.

**[0042]** Die Abbildung der **Fig. 5** zeigt ein elektrisches Ersatzschaltbild des ersten Stapels ST1 und des zweitens Stapels ST2 jeweils in einer Ausführungsform mit drei gestapelten Halbleiterdioden D1 bis D3, wobei die beiden Stapel ST1 und ST2 seriell verschaltet sind. Im Folgenden werden nur die Unterschiede zu der Abbildung der **Fig. 4** erläutert.

**[0043]** Der zweite Stapel ST2 weist wie der erste Stapel ST1 eine Serienschaltung aus drei Dioden mit dazwischen ausgebildeten Tunnelnioden auf. Beide Stapel ST1 und ST2 sind miteinander in Serie verschaltet, sodass sich die Spannung der ersten Teilspannungsquelle VQ1 des ersten Stapels ST1 und die Spannung der zweiten Teilspannungsquelle VQ2 des zweiten Stapel ST2 addieren, sofern der erste Stapel ST1 mit Licht L der ersten Wellenlänge  $\lambda_1$  und der zweite Stapel ST2 mit Licht L mit der zweiten Wellenlänge  $\lambda_2$  ausgestattet sind.

**[0044]** In einer nicht dargestellten Ausführungsform weisen die beiden Stapel ST1 und ST2 zueinander eine unterschiedliche Anzahl von jeweils in einer Serienschaltung verbundenen Dioden auf. In einer anderen nicht dargestellten Ausführungsform weist wenigstens der erste Stapel ST1 und / oder der zweite Stapel ST2  $\geq$  drei in einer Serienschaltung verbundene Dioden auf. Hierdurch lässt sich die Spannungshöhe der Spannungsquelle VQ skalieren. Vorzugsweise liegt die Anzahl N in einem Bereich zwischen vier und acht.

**[0045]** In der Abbildung der **Fig. 6** ist eine Ausführungsform einer vorteilhaften Aneinanderreihung von Halbleiterschichten zu dem ersten Stapel ST1 dargestellt. Im Folgenden werden nur die Unterschiede zu der Abbildung der **Fig. 4** erläutert. Der erste Stapel ST1 umfasst insgesamt fünf in Reihe geschaltete als Dioden D1 bis D5 ausgebildete Unterteilspannungsquellen.

**[0046]** Auf die Oberfläche OB der ersten Diode D1 trifft das Licht L auf. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Dioden D1-D5 ist jeweils eine Tunnelndiode T1-T4 ausgebildet. Mit zunehmender Entfernung der einzelnen Diode D1 bis D5 von der Oberfläche OB steigt die Dicke des Absorptionsgebiets, so dass die unterste Diode D5 das dickste Absorptionsgebiet aufweist. Insgesamt beträgt die Gesamtdicke des ersten Stapels ST1 kleiner gleich  $12 \mu\text{m}$ . Unterhalb der untersten Diode D5 ist ein Substrat SUB ausgebildet.

**[0047]** Die Abbildung der **Fig. 7** zeigt eine schematische Ansicht auf einen monolithisch ausgebildeten Gesamtstapel angeordnet auf einem gemeinsamen Substrat SUB mit einer umlaufenden absatzförmigen Stufe STU. Im Folgenden werden nur die Unterschiede zu den vorangegangenen Abbildungen erläutert.

**[0048]** Auf der Oberfläche OB des ersten Stapels ST1 ist an dem Rand R ein erster metallischer Anschlusskontakt K1 ausgebildet. Unterhalb des ersten Stapels ST1 ist der zweite Stapel ST2 angeordnet. Der erste Anschlusskontakt K1 ist mit dem ersten Spannungsanschluss VSUP1 verschaltet - nicht

dargestellt. Das Substrat SUB weist eine Oberseite OS auf, wobei die Oberseite OS des Substrats SUB stoffschlüssig mit der Unterseite des zweiten Stapels ST2 verbunden ist.

**[0049]** Hierbei versteht es sich, dass auf dem Substrat SUB eine dünne Nukleationsschicht und eine Pufferschicht epitaktisch erzeugt wird, bevor auf dem Substrat SUB die unterste Diode des zweiten Stapels ST2 angeordnet wird und stoffschlüssig mit der Oberseite OS des Substrats SUB verbunden wird. Die Oberseite OS des Substrats SUB weist eine größere Oberfläche als die Fläche an der Unterseite des zweiten Stapels ST2 auf. Hierdurch bildet sich die umlaufende Stufe STU aus. An der Unterseite des Substrats SUB ist ein zweiter ganzflächiger metallischer Kontakt K2 ausgebildet. Der zweite Anschlusskontakt K2 ist mit dem zweiten Spannungsanschluss des zweiten Stapels ST2 VSUP3 verschaltet - nicht dargestellt.

### Patentansprüche

1. Optischer Empfängerbaustein (EM), wobei der Empfängerbaustein (EM) eine erste Art von Teilspannungsquelle (VQ1) mit einer ersten Absorptionskante und eine zweite Art von Teilspannungsquelle (VQ2) mit einer zweiten Absorptionskante aufweist, die erste Absorptionskante bei einer höheren Energie liegt als die zweite Absorptionskante, jede der Teilspannungsquellen (VQ1, VQ2) eine Teilspannung erzeugt und die beiden Teilspannungsquellen (VQ1, VQ2) in Serie verschaltet sind, wobei
  - die erste Art einen ersten Stapel ausbildet und die zweite Art einen zweiten Stapel ausbildet,
  - zwischen den beiden Stapeln der Unterschied in der Absorptionskante wenigstens 50 nm beträgt,
  - beide Stapel in einem einzigen Gehäuse integriert sind, um einen Mehrfarbenempfänger auszubilden,
  - von der ersten Art eine erste Anzahl N1 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen und von der zweiten Art eine zweite Anzahl N2 von zueinander in Serie geschalteten Unterteilspannungsquellen vorgesehen ist, wobei die erste Anzahl N1 und die zweite Anzahl N2 größer als drei ist,
  - bei beiden Arten die jeweilige Abweichung der Quellenspannungen der Unterteilspannungsquellen untereinander kleiner als 20% ist, und jede der Unterteilspannungsquellen eine Halbleiterdiode (D1 - D5) mit einen p-n Übergang aufweist und
  - zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Unterteilspannungsquellen eine Tunnelndiode ausgebildet ist, wobei
  - die Unterteilspannungsquellen und die Tunnelndioden (T1 - T4) einer jeden Art stapelförmig monolithisch integriert sind und jede stapelförmig monolithisch integrierte Art eine Oberseite und eine Unterseite aufweist.

2. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei beiden Arten die jeweilige Abweichung der Quellenspannungen der Unterteilspannungsquellen untereinander kleiner als 10% ist.

3. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleiterdioden (D1, -D5) innerhalb einer Art jeweils das gleiche Halbleitermaterial umfassen.

4. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Art von Unterteilspannungsquellen und die zweite Art von Unterteilspannungsquellen gemeinsam monolithisch integriert sind und einen gemeinsamen Stapel ausbilden und eine Tunneldiode (T0) zwischen der ersten Art und der zweiten Art ausgebildet ist.

5. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Art von Unterteilspannungsquellen und die zweite Art von Unterteilspannungsquellen zwei nebeneinander angeordnete Stapel (ST1, ST2) ausbilden und die beiden Stapel (ST1, ST2) vorzugsweise auf einem gemeinsamen Substrat (SUB) angeordnet sind.

6. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die beiden Arten stapelförmig aufeinander angeordnet sind und zwischen den beiden Stapeln (ST1, ST2) ein plattenförmiger Isolator (ISO) mit einer Dicke kleiner als 1mm ausgebildet ist.

7. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Absorptionskante unterhalb 750 nm ausgebildet ist und die zweite Absorptionskante oberhalb 820 nm liegt.

8. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine der beiden Absorptionskante oberhalb 1000 nm liegt.

9. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Teilspannungsquellen (VQ1, VQ2) als Halbleitermaterial ein III-V Material umfassen.

10. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleiterdiode (D1-D5) der ersten Art ein InGaP und/oder ein AlGaAs Material umfasst und die Halbleiterdiode (D1- D5)

der zweiten Art ein GaAs Material oder ein InGaAs Material umfasst.

11. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der ersten Art und / oder bei der zweiten Art die jeweilige Grundfläche des Halbleiterstapels (ST1, ST2) eine viereckige Form aufweist und die größte Kantenlänge des jeweiligen Vierecks kleiner als 2 mm und die Fläche kleiner als 4 mm<sup>2</sup> oder kleiner als 2 mm<sup>2</sup> ist.

12. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Halbleiterdioden (D1-D5) von beiden Arten der Unterteilspannungsquellen eine p-dotierte Absorptionsschicht aufweisen, wobei die p-Absorptionsschicht von einer p-dotierten Passivierungsschicht mit einer größeren Bandlücke als die Bandlücke der p-Absorptionsschicht passiviert ist und die Halbleiterdioden von beiden Arten der Unterteilspannungsquellen eine n-dotierte Absorptionsschicht aufweisen, wobei die n-Absorptionsschicht von einer n-dotierten Passivierungsschicht mit einer größeren Bandlücke als die Bandlücke der n-Absorptionsschicht passiviert ist.

13. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine der Tunnelioden (T1, T2, T3, T4) mehrere Halbleiterschichten mit einer höheren Bandlücke als die Bandlücke der p / n Absorptionsschichten aufweist und dabei die Halbleiterschichten mit der höheren Bandlücke jeweils aus einem Material mit geänderter Stöchiometrie und / oder anderer Elementzusammensetzung als die p / n - Absorptionsschichten der Halbleiterdiode (D1, D2, D3, D4, D5) bestehen.

14. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Art von Teilspannungsquelle einen ersten Stapel (ST1) und die zweite Art von Teilspannungsquelle einen zweiten Stapel (ST2) ausbilden oder die beiden Arten einen gemeinsamen Stapel ausbilden, wobei der gemeinsame Stapel monolithisch oder zusammengesetzt ausgebildet ist, und wobei der erste Stapel (ST1) auf dem zweiten Stapel (ST2) angeordnet ist und das Licht von dem ersten Stapel (ST1) absorbierte Licht auf den zweiten Stapel (ST2) trifft.

15. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Art von Teilspannungsquelle eine Stapeldicke (ST1, ST2) kleiner als 12 µm aufweist, und bei 300 K die Teilquellenspannungen des ersten und / oder zweiten Stapels größer als 2.2 Volt ist, sofern Licht (L) mit einer Wellenlänge kleiner als die Absorptionskante auftrifft, und wobei in Lichteinfallrichtung



von der Oberseite hin zu der Unterseite jedes Stapels (ST1, ST2) die Gesamtdicke der p und n-Absorptionsschichten einer Halbleiterdiode von der obersten Halbleiterdiode (D1) hin zu der untersten Halbleiterdiode (D3 - D5) zunimmt.

16. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Teilspannungsquellen (VQ1, VQ2) in der Nähe der Unterseite einen umlaufende absatzförmige Stufe(STU) aufweisen.

17. Optischer Empfängerbaustein (EM) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine der Unter- teilspannungsquellen eine Halbleiterdiode mit einen p-i-n Übergang aufweist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

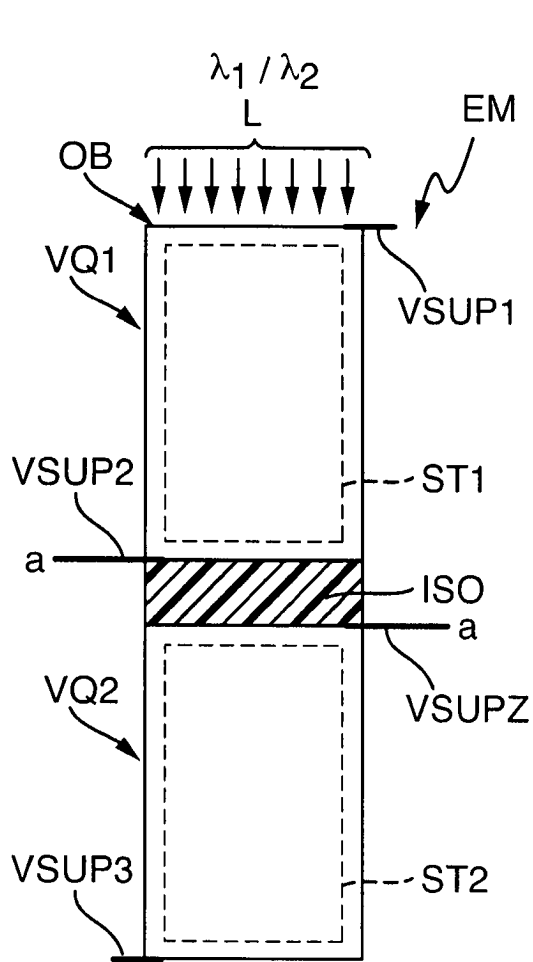


Fig. 1

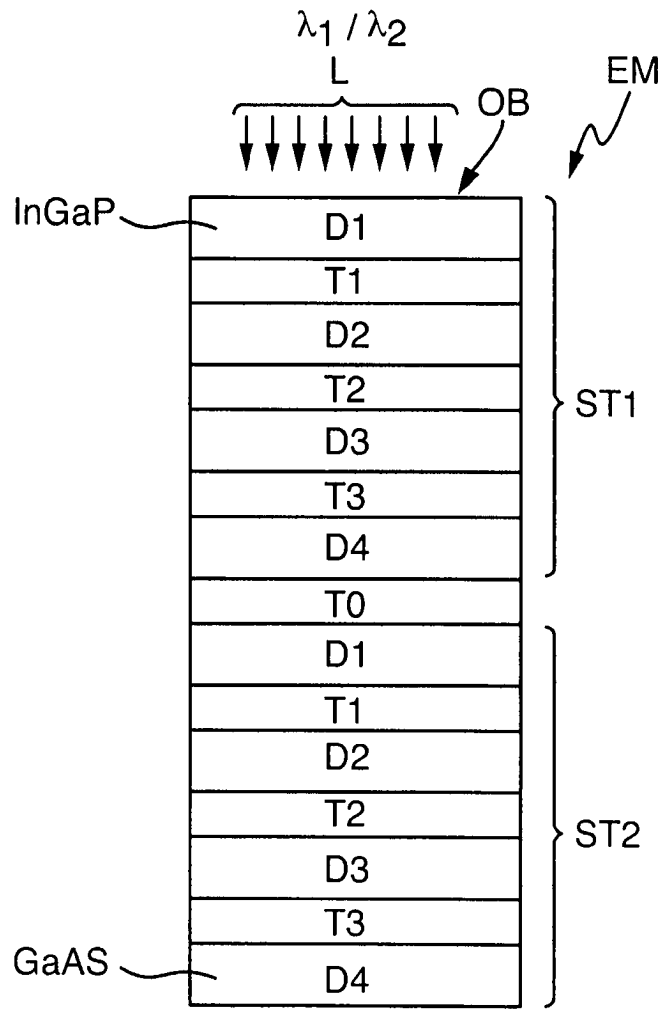


Fig. 2

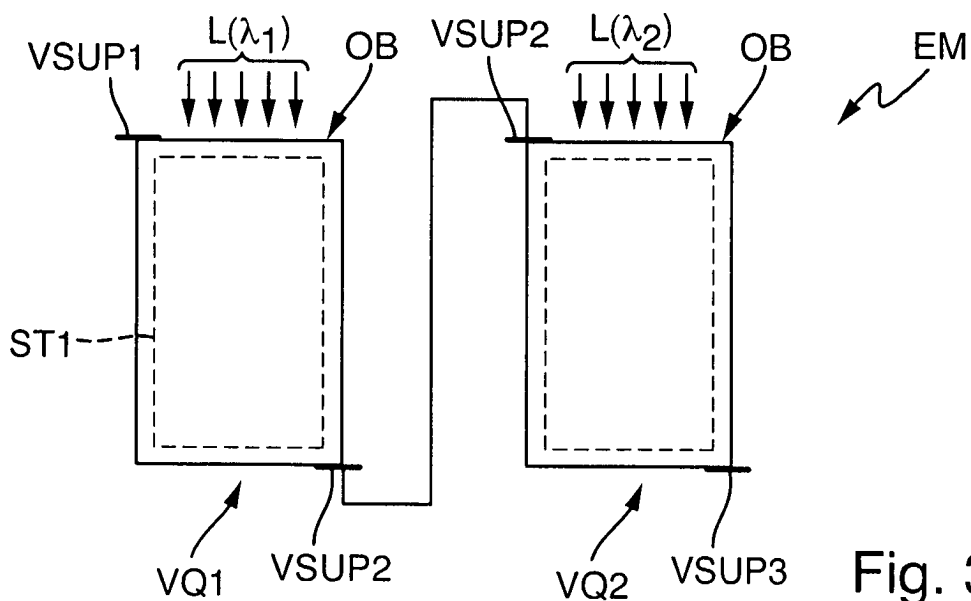


Fig. 3

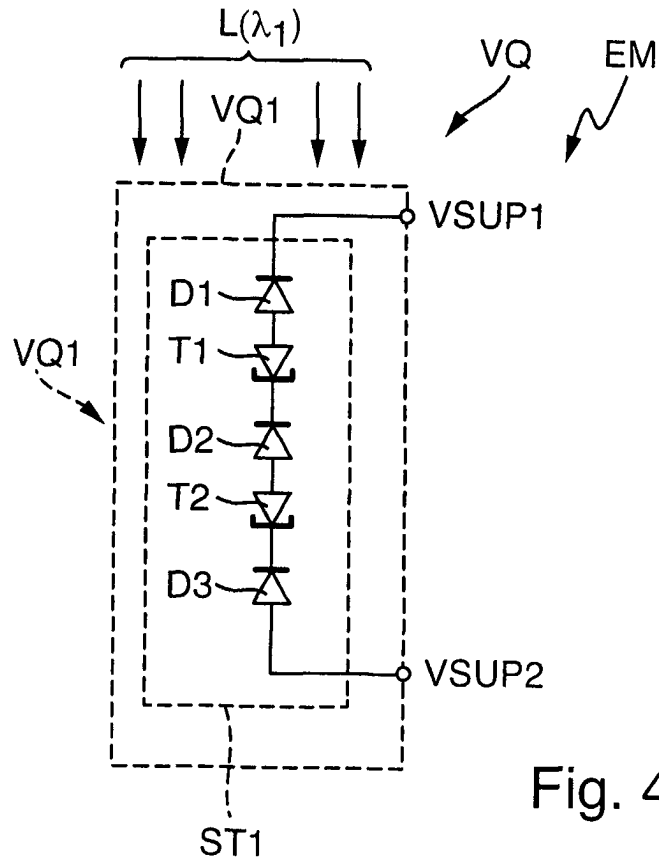


Fig. 4

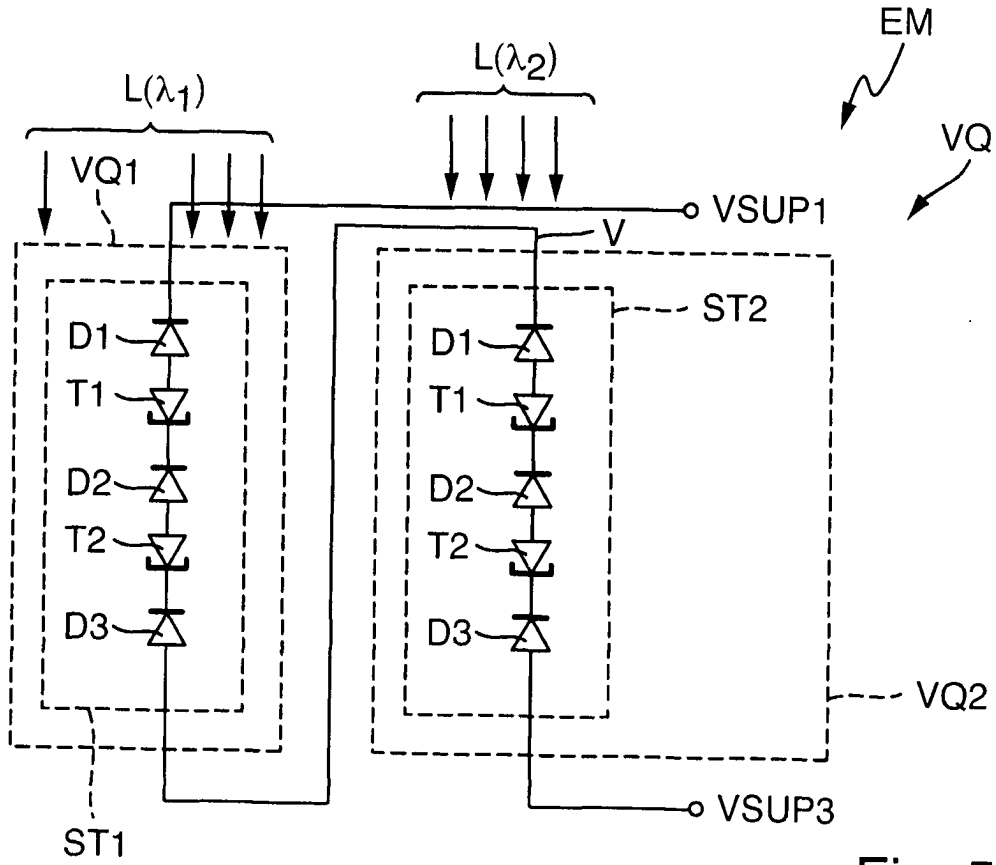


Fig. 5

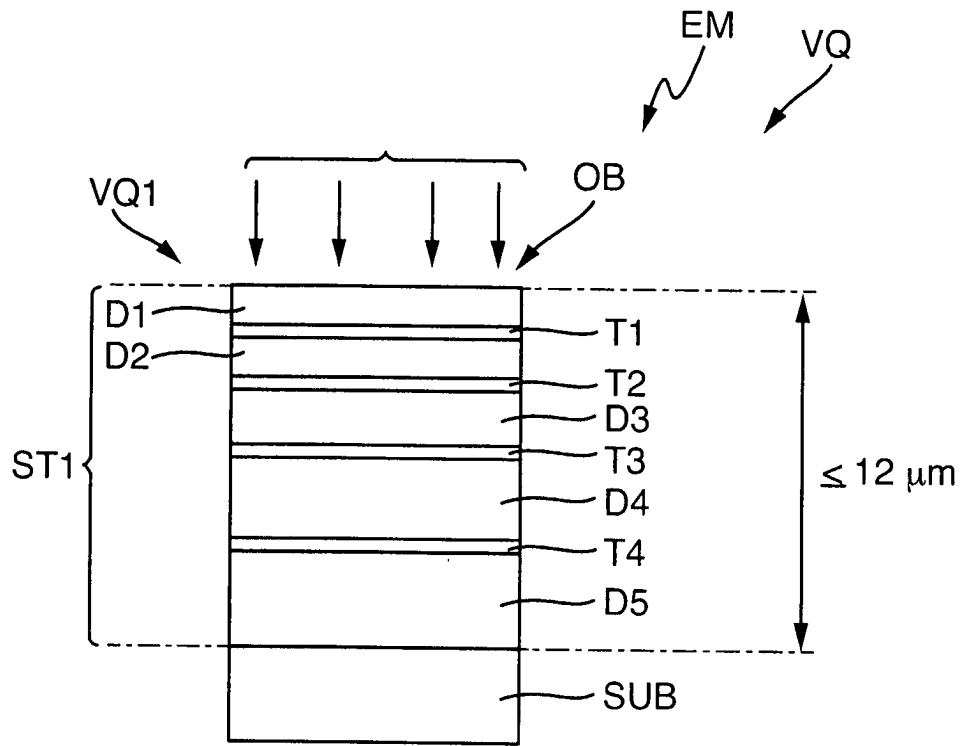


Fig. 6

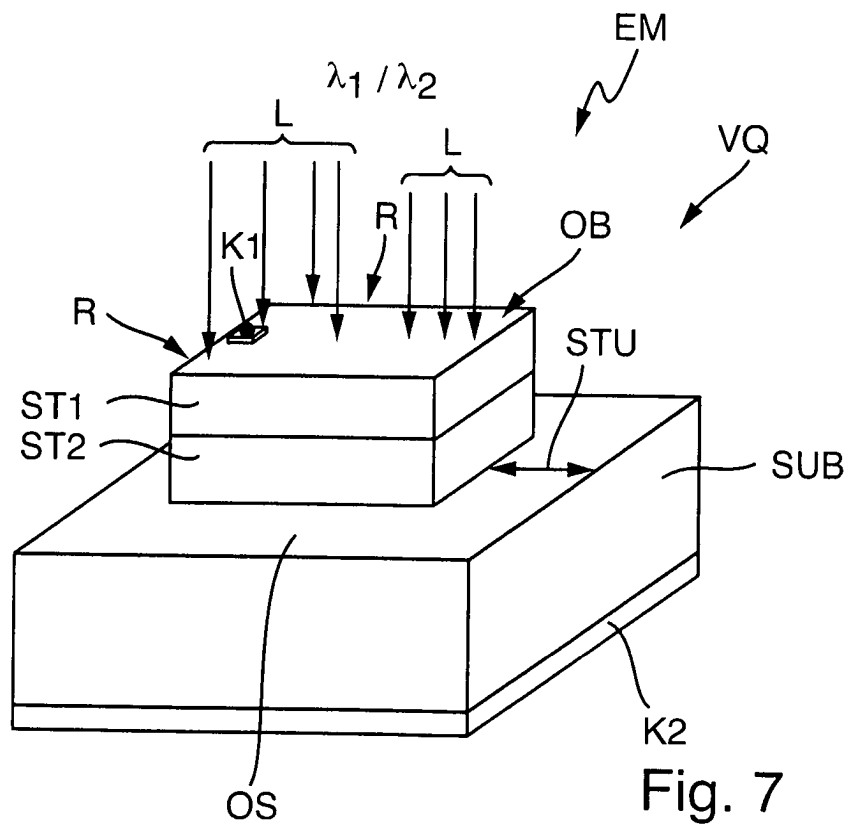


Fig. 7