



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt



(10) DE 195 09 358 B4 2005.06.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **195 09 358.5**
(22) Anmelddetag: **15.03.1995**
(43) Offenlegungstag: **10.07.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.06.2005**

(51) Int Cl.⁷: **H01L 31/109**
H01L 31/0232
// (H01L 31/0296,31:0312)

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
08/218472 15.03.1994 US

(71) Patentinhaber:
Lockheed Martin Corp., Bethesda, MD., US

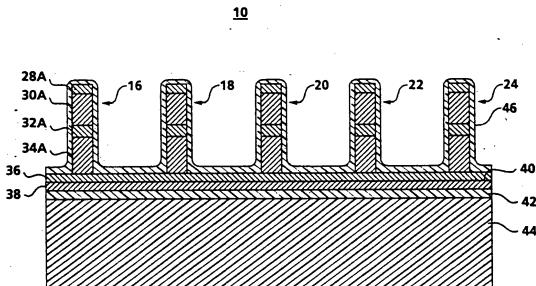
(74) Vertreter:
**Kuhnen & Wacker Patent- und
Rechtsanwaltsbüro, 85354 Freising**

(72) Erfinder:
**Schimert, Thomas R., Ovilla, Tex., US; Eden,
Dayton D., Dallas, Tex., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
US 51 79 283 A
US 50 75 749 A
US 49 70 567 A
US 47 31 640 A
T.K.Gaylord et al."Analysis and Application of Optical Diffraction by Gratings," Proc. of the IEEE vol.73, no.5, may 1985, 894-937;
M.B.Reine et al,"Photovoltaic Infrared Detectors" Semiconductrs and Semimetals, Academic Press,1981;

(54) Bezeichnung: Photovoltaischer Halbleiter-Infrarotdetektor

(57) Hauptanspruch: Photovoltaische Infrarotdetektorzelle mit einem optisch beugenden Resonanzhohlraum zum Detektieren von einfallender Infrarotstrahlung in einem ausgewählten Wellenlängenbereich, der durch eine erste Wellenlänge und ein zweite, größere Wellenlänge definiert ist und aufweist:
eine Mehrzahl von parallelen, in periodischen Abständen bzw. mit gleichem Abstand voneinander angeordneten, langgestreckten photovoltaischen Segmenten deren Abstand untereinander ungefähr gleich oder kleiner als die erste Wellenlänge der Infrarotstrahlung ist, wobei jedes Segment einen ersten Bereich eines ersten Leitfähigkeitsstyps und einen zweiten Bereich eines zweiten Leitfähigkeitsstyps aufweist, wobei jedes Segment einen p-n-Übergang zwischen den ersten und zweiten Bereichen aufweist und wobei sich der p-n-Übergang im wesentlichen in Längsrichtung des Segments erstreckt;
einen ersten elektrischen Leiter zum Verbinden der ersten Bereiche der Segmente und einen zweiten elektrischen Leiter zum Verbinden der zweiten Bereiche der Segmente;
einen zu den photovoltaischen Segmenten parallelen und davon abgesetzt angeordneten planaren Reflektor zum Reflektieren der Infrarotstrahlung, wobei der Abstand zwischen dem planaren Reflektor...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Infrarotdetektoren und insbesondere einen Infrarotdetektor mit einer photovoltaischen Detektordiode gemäß den Ansprüchen 1, 13 und 19.

[0002] Infrarotdetektorzellen und entsprechende Feld- bzw. Matrixanordnungen werden zur Erzeugung von Bildern in Situationen verwendet, bei denen das optische Abbild im sichtbaren Bereich nicht wirksam bzw. nutzbar ist, z. B. bei Dunkelheit oder bei denen Infrarotlicht mehr zusätzliche Informationen über das Ziel bereitstellt.

[0003] Die Verbesserung bzw. Erhöhung der Detektionseigenschaften bzw. -leistung (D*) und die Erhöhung des Widerstands bzw. der Robustheit der Diodendetektoren sind dauernd Gegenstand und Ziel beim Aufbau von Infrarotdetektoren.

[0004] Die US-Patentschrift 4 731 640 offenbart einen Infrarot-Fotodetektor, bei dem das die Infrarotstrahlung absorbierende Material in einem Abstand von $\lambda/4$ von einer die Infrarotstrahlung reflektierenden Oberfläche angeordnet ist. Dies hat zur Folge, daß eine vertikale stehende Welle entsteht, wobei hier vertikal im Sinne einer Richtung parallel zur Einfallsrichtung der Infrarotstrahlung zu verstehen ist. Für die Anordnung des die Infrarotstrahlung absorbierenden Materials in einem Abstand vom $\lambda/4$ von der reflektierenden Oberfläche muß die Dicke von zwei elektrische Ladungsträger blockierenden Schichten sehr genau eingestellt werden. Bei dem bekannten Infrarot-Fotodetektor wird also nicht das die Infrarotstrahlung absorbierende Material selbst zur Bildung einer horizontalen stehenden Welle senkrecht zur Einfallsrichtung der Infrarotstrahlung verwendet.

[0005] Die US-Patentschrift 5 075 749 offenbart einen Infrarot-Fotodetektor, in welchem ein optisches Gitter vorgesehen ist, um die Infrarotstrahlung in das die Infrarotstrahlung absorbierende Material einzukoppeln. Das optische Gitter wird benötigt, damit das die Infrarotstrahlung absorbierende Material dann, wenn es aus Mehrfach-Quantensenkenmaterial gebildet ist, die Infrarotstrahlung absorbiert. Im einzelnen ist das hier angegebene optische Gitter aus einer nicht-epitaktischen Schicht aus einem Material gebildet, welches vorzugsweise von dem die Infrarotstrahlung absorbierenden Material verschieden ist. Das optische Gitter ist daher ein von dem die Infrarotstrahlung absorbierenden Material vollständig gesondertes Bauteil. Das optische Gitter hat bei der bekannten Konstruktion die Aufgabe einer Streuung der Infrarotstrahlung.

Aufgabenstellung

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es einen verbesserten Infrarotdetektor zu schaffen.

[0007] Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt durch die Merkmale des Anspruches 1 oder des Anspruches 13 oder des Anspruches 19.

[0008] Die vorliegende Erfindung umfaßt eine photovoltaische Detektorzelle mit einem optisch beugenden Resonanzhohlraum zum Detektieren von einfallender Infrarotstrahlung in einem ausgewählten Wellenlängenbereich, der durch eine erste Wellenlänge und eine zweite, längere Wellenlänge definiert ist. Die Detektorzelle umfaßt eine Beugungsgitterstruktur mit einer Mehrzahl von parallelen, langgestreckten photovoltaischen Segmenten, die periodisch voneinander beabstandet sind, mit einem Abstand der gleich oder kleiner der ersten Wellenlänge des Wellenlängenbereichs ist. Jedes photovoltaische Segment besitzt einen ersten Bereich mit einem ersten Leitfähigkeitstyp und einen zweiten Bereich mit einem zweiten Leitfähigkeitstyp, um einen p-n Übergang zwischen dem ersten und zweiten Bereich zu schaffen. Die ersten Bereiche sind elektrisch miteinander verbunden und auch die zweiten Bereiche sind elektrisch miteinander verbunden. Etwas abgesetzt von bzw. versetzt zu den photovoltaischen Segmenten ist ein planarer Reflektor angeordnet. Die photovoltaische Beugungsgitterstruktur in Kombination mit dem planaren Reflektor bilden eine optisch beugende Resonanzhohlraumstruktur in der die einfallende Infrarotstrahlung effizient in geführte Beugungsmoden eingekoppelt und effizient absorbiert wird. Ein Detektionssignal wird zwischen dem ersten und zweiten Bereichen der photovoltaischen Segmente als Reaktion auf die Rezeption der einfallenden Infrarotstrahlung erzeugt.

[0009] Die Unteransprüche beziehen sich auf vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Ausführungsbeispiel

[0010] Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Beschreibungen von Ausführungsformen anhand der Zeichnungen bei denen es sich jedoch nicht notwendiger-

weise um maßstabsgetreue Darstellungen handelt. Es zeigt:

[0011] [Fig. 1](#) eine Aufsicht auf eine eindimensionale polarisationssensitive Infrarotdetektorzelle gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0012] [Fig. 2](#) eine Schnittansicht entlang der Linie 2-2 eines Segments der Infrarotdetektorzelle aus [Fig. 1](#);

[0013] [Fig. 3](#) eine Schnittansicht entlang der Linie 3-3, die eine Gruppe von Segmenten der Infrarotdetektorzelle aus [Fig. 1](#) illustriert;

[0014] [Fig. 4](#) einen Graphen mit der vorausgesagten Infrarotenergieabsorption der Detektorzelle **10** aus [Fig. 1](#);

[0015] [Fig. 5](#) ist eine Schnittdarstellung einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die ein gegenüber der Infrarotdetektorzelle aus [Fig. 1](#) modifiziertes Segment aufweist, bei der zusätzlich Metallkontakte für die Basis- und Kappenschicht vorgesehen sind;

[0016] [Fig. 6](#) ist eine ebene Darstellung einer weiteren Ausführungsform der Erfindung die transverse Segmente bzw. Segmente in Matrixanordnung aufweist für einen zweidimensionalen polarisationsunabhängigen Aufbau; und

[0017] [Fig. 7](#) ist ein Graph über die vorausgesagte Infrarotenergieabsorption der Detektorzelle **100** aus [Fig. 6](#).

[0018] Eine erste Ausführungsform der Erfindung ist in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellt. Eine Infrarotdetektorzelle **10** funktioniert bzw. arbeitet als eine Diode mit einem optisch beugenden Resonanzhohlraum. Die Zelle **10** umfaßt parallele photovoltaische Segmente **16**, **18**, **20**, **22** und **24** die jeweils aus einer Mehrzahl von Schichten bestehen, die im Schnitt in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellt sind. Die parallelen Segmente **16**, **18**, **20**, **22** und **24** bilden eine eindimensionale Beugungsgitterstruktur. Ein dazu quer angeordnetes Segment **14** verbindet die Segmente **16**, **18**, **20**, **22** und **24** miteinander.

[0019] Die Segmente **16**, **18**, **20**, **22** und **24** bestehen aus geätzten Bereichen bzw. Teilen einer leitenden Schicht **28**, einer Basisschicht **30** eines p-n-Übergangs **32** und einer Kappenschicht **34**. Die Zelle **10** umfaßt des weiteren eine leitende Schicht **36** und eine Passivierungsschicht **46**. Die Charakteristiken und Merkmale dieser Schichten ergeben sich aus der nachfolgenden Aufstellung

| <u>ELEMENT</u> | <u>DICKE</u> | <u>MATERIAL</u> |
|----------------------|--------------|---|
| Leitende Schicht 28 | 1000 Å | HgTe (leitendes Halbmetall) 100 nm |
| Basisschicht 30 | 7000 Å | HgCdTe (x≈0,21-0,225; mit Indium oder Jod dotierte n-Typ-Schicht, 10 ¹⁵ /cm ³) |
| p-n-Übergang 32 | 5000 Å | Gradienten-p-n-Übergang zwischen den Schichten 30 und 34 |
| Kappenschicht 34 | 15000 Å | HgCdTe (x≈0,26-0,3; mit Arsen dotierte p-Schicht, 10 ¹⁷ /cm ³) |
| Leitende Schicht 36 | 1000 Å | HgTe (leitendes Halbmetall) |
| Passivierungsschicht | 1000 Å | CdTe (nichtleitend) |

46

[0020] Die Quecksilber-Cadmium-Tellurid-Verbindung (Hg_{1-x}Cd_xTe) ist durch den Parameter "x" gekennzeichnet, der das Verhältnis von Cd zu Hg charakterisiert. Der Anteil von Hg ist durch "1-x" angegeben.

[0021] Die beschriebene Diode mit optisch beugenden Resonanzhohlraum ist eine p-on-n-Heteroübergangsdiodenkonfiguration. Alternative Ausführungsformen umfassen eine n-on-p-Heteroübergangskonfiguration oder p-on-n- oder n-on-p-Konfigurationen mit homogenen Übergängen. Bei homogenen Übergängen ist der x-Wert der Basis- und Kappenschicht identisch. In heterogenen Übergängen bzw. bei Heteroübergängen ist der x-bzw. Index-Wert der Basis- und Kappenschicht unterschiedlich. Ein in seiner Struktur zu dem Segment **14** vergleichbares Segment ist unter dem Leiter **12** angeordnet und stellt die gleichen elektrischen Eigenschaften bzw. Funktionen bereit, wie das Segment **14**.

[0022] Der Aluminiumleiter **12** ist ein streifenförmiger Aluminiumleiter, der elektrisch mit der Schicht **28** verbunden ist. Der Leiter **12** besitzt eine Dicke von ungefähr 50 und eine Breite von ungefähr 5 μm .

[0023] Die in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigte Detektorzelle **10** ist für den langwelligen Infrarotbereich (LWIR) ausgelegt d. h. für Wellenlängen im Bereich zwischen 8 und 12 μm . Der gleichförmige Abstand zwischen den Segmenten **16**, **18**, **20**, **22** und **24** definiert die "Periode" bzw. die Periodizität der Beugungsgitterstruktur und wird in [Fig. 1](#) durch das Symbol " Λ " dargestellt. Die Periode Λ der Zelle **10** ist kleiner oder gleich der kürzesten Wellenlänge des interessierenden Wellenlängenbandes bzw. -bereiches. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist Λ gleich 8,0 μm . Bei Verwendung dieser Periode bzw. Periodizität wird die Beugung von reflektierter Infrarotstrahlung unterdrückt, während die Beugung von Infrarotstrahlung in dem optisch beugenden Resonanzhohlraum begünstigt wird. Das effiziente Einkoppeln der Beugungsmodenenergie in die optisch beugende Resonanzhohlraumstruktur führt zu hoher Absorption der Infrarotenergie. Deswegen wird die Zelle **10** als eine Struktur mit "optisch beugendem Resonanzhohlraum" bezeichnet. Der Resonanzraum bzw. der Resonanzhohlraum erstreckt sich von der Oberfläche der Reflektorschicht zu der oberen Oberfläche der Passivierungsschicht.

[0024] Die Breite jedes der Segmente **16**, **18**, **20**, **22** und **24** wird in [Fig. 1](#) durch das Bezugszeichen "w" bezeichnet. Der bevorzugte Wert w für die Segmente der Zelle **10** beträgt 1,5 μm .

[0025] Die Gesamtbreite der Detektorzelle **10** wird in [Fig. 1](#) durch das Bezugszeichen "W" bezeichnet. Der bevorzugte Wert für W für die Zelle **10** beträgt 40 μm . Die Gesamtlänge der Zelle **10** wird mit dem Bezugszeichen bzw. dem Symbol "L" bezeichnet. Der bevorzugte Wert für L bei der Zelle **10** beträgt 40 μm .

[0026] Die Kappenschicht **34** ist auf der elektrisch leitenden Schicht **36** ausgebildet.

[0027] Die leitende Schicht **36** ist auf der Oberfläche einer Grundebenenschicht **38** ausgebildet. Die Schicht **38** umfaßt abgelagertes Aluminium mit einer Dicke von ungefähr 50nm. Die Schicht **38** besitzt eine reflektierende Oberfläche **40**, die zum Reflektieren der einfallenden durch die Zelle **10** empfangenen Infrarotstrahlung dient und bildet eine hochreflektive Oberfläche in der optisch beugenden Resonanzhohlraumstruktur. Die Schicht **38** dient auch als elektrischer Leiter der über die leitende Schicht **36** einen Ohmschen Kontakt zu den Segmenten der Kappenschicht **34** herstellt.

[0028] Eine Epoxidharzsicht **42** verbindet bzw. verklebt ein Substrat **44** mit der Grundebenenschicht **38**. Die Epoxidharzsicht **42** besitzt eine ausgewählte Dicke von 100nm und umfaßt ein optisch gradiertes Epoxidharz, wie es beispielsweise durch die Masterbond Company hergestellt wird. Das Substrat **44** das vorzugsweise 500 bis 1000 μm dick ist, stellt eine mechanische Stütze für die Zelle **10** dar und kann beispielsweise aus Saphir oder Silizium bestehen. Das Substrat **44** kann auch einen auf Silizium integrierten Schaltkreis umfassen, dessen Schaltkreiskomponenten das an den elektrischen Leiterausgängen (wie **12** und **38**) der Zelle **10** erzeugte Detektionssignal aufnehmen. Derartige integrierte Ausleseschaltkreise (ROIC = Readout Integrated Circuits) für Infrarotdetektoren sind aus dem US-Patent Nr. 5,179,283 von Cockrum et al., erteilt am 12. Januar 1993 mit dem Titel "Infrared Detector Focal Plane" und aus dem US-Patent Nr. 4,970,567 von Ahlgren et al., ausgegeben am 13. November 1990 mit dem Titel "Method and Apparatus for Detecting Infrared Radiation, Monolithic Photodetector", bekannt, auf die voll inhaltlich Bezug genommen wird.

[0029] Die Detektorzelle **10** umfaßt des weiteren eine Passivierungsschicht **46** die nichtleitendes CdTe enthält. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit der Darstellung ist die Schicht **46** nur in [Fig. 3](#) und nicht in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt.

[0030] Der Abstand von der reflektierenden Schicht **40** zu der oberen Oberfläche der Passivierungsschicht **46** ist ungefähr ein ungeradzahliges Vielfaches der effektiven Wellenlänge der in die Region zwischen der reflektierenden Oberfläche **40** und der oberen Oberfläche der Passivierungsschicht **46** einfallenden Infrarotstrahlung. Bei der vorliegenden beispielhaften Ausführungsform beträgt dieser Abstand 3 μm , was das Dreifache

eines Viertels der effektiven Wellenlänge von ungefähr 1,0 µm ist. Die effektive Viertelwellenlänge ist ein Viertel der Wellenlänge des freien Raums (was 2,5 µm für einen bei einer Wellenlänge von 10 µm arbeitenden Detektor ist) dividiert durch den effektiven Brechungsindex der jeweiligen Ausführungsform. Bei der vorliegenden beispielhaften Ausführungsform variiert der Brechungsindex von Schicht zu Schicht, für die Struktur **10** als ganzes beträgt der effektive Brechungsindex 2,5. Dies führt zu einer effektiven Viertelwellenlänge von 1,0 µm.

[0031] Die Herstellung des Detektors **10** erfolgt vorzugsweise auf folgende Art und Weise. Die Basisschicht **30**, der p-n-Übergang **32** und die Kappenschicht **34** werden epitaktisch auf einem Substrat (nicht dargestellt) aus CdTe, CdZnTe oder GaAs aufgewachsen, wobei der Wert bzw. Parameter "x" und die extrinsische Dotierung bzw. die Dotierung mit Fremdatomen während des Aufwachsens geändert wird, um die Schichten **30** und **34** und den p-n-Übergang **32** zu erzeugen, wie sie vorstehend beschrieben worden sind.

[0032] Die Leiterschicht **36** wird auf der Kappenschicht **34** abgelagert oder epitaktisch aufgewachsen und die Aluminium-Grundebenschicht **38** wird auf der Leiterschicht **36** abgelagert bzw. aufgebracht.

[0033] Die demgemäß hergestellte Vorrichtung wird mittels der Epoxidharzsicht **42** mit dem Substrat **44** verklebt bzw. verbunden. Das nicht dargestellte Substrat, auf dem die Schicht **30** aufgewachsen worden ist, wird dann mittels selektivem Ätzen entfernt, beispielsweise durch Verwendung von HF, Peroxid (H₂O₂) und Wasser (H₂O) oder HNO₃, H₃O₂ und H₂O.

[0034] Die Leiterschicht **28** wird auf der Basisschicht **30** abgelagert.

[0035] Ein herkömmlicher Abdecklack bzw. Photolack wird auf die Schicht **28** in der gewünschten Konfiguration aufgebracht, um die Beugungsgitterstruktur bestehend aus den Elementen **14**, **16**, **18**, **20**, **22**, **24** und einem entsprechenden Segment unterhalb des Streifens **12** zu bilden. Das Ätzen wird vorzugsweise mittels Brom-Ethylen-Glycol-Aerosol-Ätzmitteln oder mittels Plasma-Ätzen mit freien Methylradikalen durchgeführt.

[0036] Der Aluminiumleiter **12** wird unter Verwendung von standardmäßigen photolithographischen Abhebeverfahren in der gewünschten Form und Struktur auf der Schicht **28** aufgebracht.

[0037] Aufgrund der physischen Ausgestaltung der langgestreckten Segmente **16**, **18**, **20**, **22** und **24**, die die einfallende Infrarotstrahlung empfangen, absorbiert die in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigte Detektorzelle **10** in erster Linie nur linear polarisierte Infrarotstrahlung.

[0038] Eine Detektorzelle **100**, die zweidimensional, auf zwei Polarisationsrichtungen anspricht, wird nachfolgend unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) beschrieben.

[0039] Die in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellte Detektorzelle **10** empfängt in erster Linie normal einfallende Infrarotstrahlung. Die Detektorzelle **10** mit den Segmenten **16**, **18**, **20**, **22** und **24** funktioniert bzw. arbeitet als ein optisches Beugungsgitter, wie es in "Analysis and Applications of Optical Diffraction by Gratings" von Thomas K. Gaylord und M. G. Moharam in Proceedings of the IEEE, Vol. 73, Mai 1985 beschrieben ist. Die Detektorzelle **10**, die die reflektierende Grundebenschicht **38** umfaßt, arbeitet als ein optisch beugender Resonanzhohlraum bzw. Resonanzraum. Einfallende Infrarotstrahlung wird effizient als Energie geführter Beugungsmoden in Zelle **10** gekoppelt und in der Basisschicht **30** absorbiert, um einen photovoltaischen Strom zwischen der Basisschicht **30** und der Kappenschicht **34** in jedem der Segmente **16**, **18**, **20**, **22** und **24** zu erzeugen. Dieser Strom enthält ein Detektionssignal, das über die verbindenden Segmente der Schicht **30**, wozu auch das Segment **14** zählt, zu dem Aluminiumleiter **12** und durch die Leiterschicht **36** zu der leitenden Grundebenschicht **38** geleitet wird. Daher wird das Detektionssignal der Zelle **10** zwischen dem Aluminiumleiter **12** und der Grundebenschicht **38** aus Aluminium erzeugt. Das Detektionssignal für eine Zelle **10** stellt vorzugsweise ein Bildelement innerhalb eines Feldes bzw. einer Matrixanordnung mit Zellen **10** dar. Eine Mehrzahl derartiger Detektionssignale kann zur Erzeugung eines Bildes verwendet werden.

[0040] Die Detektionssignale für jede Zelle **10** einer Gruppe von Zellen **10** können, wie oben erwähnt, einem ROIC-Substrat zugeführt werden, um das zusammengesetzte Infrarotbild zu erzeugen.

[0041] [Fig. 4](#) zeigt einen Graphen, der die vorausgesagte Quantenausbeute einer in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) gezeigten Detektorzelle darstellt. Die Zelle **10** ist hinsichtlich der Mitte eines Wellenlängenbandes von 8 bis 12 µm auf ungefähr 10 µm optimiert.

[0042] Eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Detektorzelle **60**, wie sie in [Fig. 5](#)

dargestellt ist, die der Schnittansicht in [Fig. 2](#) entspricht. Bei dieser zweiten Ausführungsform handelt es sich um eine Modifizierung der Ausführungsform gemäß den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#). Für entsprechende bzw. gleiche Teile sind in beiden Ausführungsformen die gleichen Bezugszeichen verwendet. Eine Passivierungsschicht **37** aus CdTe mit einer Dicke von ungefähr 100nm ist auf der Schicht **34** ausgebildet. Eine Grundebenenschicht **66** aus Aluminium mit einer Dicke von ungefähr 100nm ist auf der Schicht **37** gebildet, wodurch eine reflektierende Oberfläche **68** an dem Übergang zwischen den Schichten **37** und **66** erzeugt wird.

[0043] Ein leitender Streifen **70**, vorzugsweise aus Aluminium, mit einer Dicke von 100nm, wird auf der Schicht **34** in elektrischem Kontakt zu der Schicht **34** ausgebildet. Ein Aluminiumstreifen **64** mit einer Dicke von 100nm wird auf der Schicht **30** ausgebildet.

[0044] In der Detektorzelle **60** wird das Detektionssignal zwischen den leitenden Streifen **64** und **70** erzeugt.

[0045] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Detektorzelle **100**, wie sie in [Fig. 6](#) gezeigt ist. Die Zelle **100** entspricht in ihrem Aufbau der in [Fig. 1](#) gezeigten Zelle **10**, enthält jedoch zusätzlich transversale bzw. querlaufende photovoltaische Segmente, die physikalisch den bereits beschriebenen Segmenten **16**, **18**, **20**, **22** und **24** entsprechen. Die horizontal und transversal bzw. dazu querlaufenden photovoltaischen Segmente bilden eine rechteckige, zweidimensionale Beugungsgitterstruktur.

[0046] Die Detektorzelle **100** umfaßt vertikale photovoltaische Segmente **116**, **118**, **120**, **122** und **124** zusammen mit diese Segmente horizontal schneidenden photovoltaischen Segmenten **130**, **132**, **134** und **136**. Eine Schicht **112** ist eine der Schicht **12** in [Fig. 1](#) entsprechende Aluminiumschicht. Ein photovoltaisches Segment **114** entspricht dem Segment **14** in [Fig. 1](#).

[0047] Die Abstände zwischen den horizontalen und vertikalen Segmenten und die Dimensionen bzw. Ausmaße der horizontalen und vertikalen Segmente der Detektorzelle **100** entsprechen dem Segmentabstand in Zelle **10** der [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#).

[0048] Die Detektorzelle **100** absorbiert sowohl horizontal als auch vertikal polarisierte Infrarotstrahlung und stellt damit einen Detektor für unpolarisierte Strahlung bzw. einen auf die Polarisation nicht ansprechenden Detektor dar. Die Detektorzelle **100** weist eine Querschnittskonfiguration auf, die im wesentlichen der in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigten entspricht und weist folgende Charakteristiken und Merkmale auf (bei den verwendeten Materialien handelt es sich um die gleichen die in der entsprechenden Tabelle für die Detektorzelle **10** aufgelistet sind):

| ELEMENT | DICKE |
|--------------------------------|-------|
| Leiterschicht 28 | 100nm |
| Basisschicht 30 | 700 |
| p-n-Übergang 32 | 500nm |
| | |
| Kappenschicht 34 | 1500 |
| Leiterschicht 36 | 100nm |
| Passivierungsschicht 46 | 100nm |

[0049] Die vorausgesagte spektrale Quantenausbeute für eine 3/4-Wellenlängeresonanzdetektorzelle **100**, ist für eine Detektorzelle gemäß [Fig. 6](#) in [Fig. 7](#) gezeigt, wobei für die Basisschicht **30** gilt $x = 0,21$ und für die Kappenschicht $x = 0,26$. Die Gesamtdicke der Diode beträgt 3,0 μm . Die Periode bzw. Periodizität beträgt 7 μm und die Breite w beträgt 1,0 μm . Die Passivierungsschicht **46** ist bei dieser Ausführungsform 100. Der effektive Brechungsindex der Detektorzelle **100** beträgt 2,5. Dies führt zu einer effektiven Viertelwellenlänge von 1 μm .

[0050] Aus [Fig. 7](#) ist zu ersehen, daß die vorausgesagte Quantenausbeute im mittleren Bereich des interessierenden Wellenlängenbandes von 8 bis 12 μm 90% übersteigt. Die Detektorzelle **100** ist für die Detektion auf die Mitte des Wellenlängenbandes von 8 bis 12 μm bei 10 μm optimiert.

[0051] Die hierin beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beinhalten ein Quecksilber-Cadmium-Tellurid-Materialsystem zum Betrieb im langwelligen Infrarotbereich. Ein Betrieb im langwelligen Infrarotbereich kann auch erreicht werden, wenn Materialsysteme mit Indium-Gallium-Antimonid/Indium-Arsenid oder Indium-Antimonid-Arsenid/Indium-Antimonid in Form von gezerrtem bzw. belastetem Supergitterstrukturen (strained layer superlattice) verwendet werden. Bei Verwendung von Quecksilber-Cadmi-

um-Tellurid-, Indium-Antimonid-/Indium-Gallium-Antimonid- oder Indium-Antimonid-Arsenid-Materialsystemen kann die vorliegende Erfindung auch im mittleren Wellenlängenbereich (3 bis 5 μm) verwendet werden. Die Erfindung kann auch im kurzweligen Bereich (2 bis 2,5 μm) unter Verwendung des Indium-Gallium-Arsenid-Materialsystems verwendet werden.

[0052] Die Detektorzellen gemäß der vorliegenden Erfindung können hinsichtlich der Optimierung auf gewünschte Infrarotwellenlängen ausgelegt sein. Die Ausführungsformen der Detektorzellen **10** und **100** sind hinsichtlich der Verwendung im Infrarotwellenlängenband von 8 bis 12 μm mit maximaler Empfindlichkeit bzw. mit einem maximalen Ansprechen in der Mitte dieses Wellenlängenbandes bei ungefähr 10 μm ausgelegt. Die Dicke der verschiedenen Schichten, wie sie in den Tabellen für die Zellen **10** und **100** aufgeführt sind, können verändert werden, um Optimierungen bzw. Auslegungen für andere Infrarotwellenlängen zu erreichen.

[0053] Der Vorteil des Aufbaus eines photovoltaischen, optisch beugenden Resonanzhohlraums gegenüber einem Infrarotdetektor mit einem photovoltaisch, optisch brechenden Resonanzhohlraum und gegenüber konventionellen photovoltaischen Detektoren, wie sie in "Photovoltaic Infrared Detectors" von M. B. Reine, A. K. Soad und T. J. Tredwell in Semiconductors and Semimetals, Vol. 18, Mercury Cadmium Telluride, herausgegeben von R. K. Willardson und A. C. Beer, Academic Press, 1981, beschrieben sind, besteht darin, dass das photovoltaische Diodenvolumen bzw. das Volumen der photovoltaischen Diode und die Querschnittsfläche reduziert sind ohne die Absorption bzw. Absorptivität von Infrarotstrahlung zu reduzieren, was zu größeren D*-Leistungen und höheren Diodenwiderständen bzw. zu erhöhter Widerstandsfähigkeit führt.

[0054] Es wird somit eine erfindungsgemäße Infrarotdetektorzelle bereitgestellt, die eine Mehrzahl von in gleichförmigen Abständen angeordneten linearen Segmenten umfaßt, die ein optisches Gitter bilden. Jedes Segment ist über ihre Breite selektiv dotiert, um eine photovoltaische Diode zu bilden. Die linearen Segmente stellen zwischen elektrischen Leitern einen Ohmschen Kontakt her, um ein Detektionssignal einer Einzelzelle zu erzeugen. Die Zelle umfaßt einen optisch beugenden Resonanzhohlraum. Eine Feld bzw. eine Matrixanordnung der Zellen kann ein Infrarotbild erzeugen. Es werden Zellenkonfigurationen zum Empfangen von in einer Dimension bzw. von linear polarisierter Strahlung als auch von zweidimensional bzw. unpolarisierter Strahlung angegeben.

[0055] Auch wenn verschiedene Ausführungsformen der Erfindung in den beiliegenden Zeichnungen illustriert und der vorstehenden Beschreibung erläutert worden sind wird der Schutzmfang der vorliegenden Erfindung durch die Ansprüche gegeben, so daß vielfältige Modifikationen möglich sind, ohne den Schutzmfang der Patentansprüche zu verlassen.

Patentansprüche

1. Photovoltaische Infrarotdetektorzelle mit einem optisch beugenden Resonanzhohlraum zum Detektieren von einfallender Infrarotstrahlung in einem ausgewähltem Wellenlängenbereich, der durch eine erste Wellenlänge und eine zweite, größere Wellenlänge definiert ist und aufweist:
 eine Mehrzahl von parallelen, in periodischen Abständen bzw. mit gleichem Abstand voneinander angeordneten, langgestreckten photovoltaischen Segmenten deren Abstand untereinander ungefähr gleich oder kleiner als die erste Wellenlänge der Infrarotstrahlung ist, wobei jedes Segment einen ersten Bereich eines ersten Leitfähigkeitstyps und einen zweiten Bereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps aufweist, wobei jedes Segment einen p-n-Übergang zwischen den ersten und zweiten Bereichen aufweist und wobei sich der p-n-Übergang im wesentlichen in Längsrichtung des Segments erstreckt;
 einen ersten elektrischen Leiter zum Verbinden der ersten Bereiche der Segmente und einen zweiten elektrischen Leiter zum Verbinden der zweiten Bereiche der Segmente;
 einen zu den photovoltaischen Segmenten parallelen und davon abgesetzt angeordneten planaren Reflektor zum Reflektieren der Infrarotstrahlung, wobei der Abstand zwischen dem planaren Reflektor und einer oberen Oberfläche der Segmente ungefähr, ein ungeradzahliges Vielfaches eines Viertels der effektiven Wellenlänge der einfallenden Infrarotstrahlung ist; und
 wobei die Detektorzelle (**10**; **60**; **100**) als Antwort auf den Empfang der einfallenden Infrarotstrahlung zwischen dem ersten und zweiten elektrischen Leiter ein Detektionssignal erzeugt.

2. Detektorzelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste elektrische Leiter miteinander verbundene Streifen einer leitenden Schicht umfaßt, die den ersten Bereich der photovoltaischen Segmente kontaktieren.

3. Detektorzelle nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Leiter eine metallische Leiter-

schicht umfaßt, die in Kontakt mit wenigstens einem Teil der miteinander verbindenden Streifen der Leiterschicht ausgebildet ist.

4. Detektorzelle nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite elektrische Leiter zusammen mit dem planaren Reflektor eine planare Leiterschicht umfaßt.

5. Detektorzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine elektrisch leitende Distanzschicht sich in Kontakt zwischen dem zweiten Bereich der photovoltaischen Segmente und dem planaren Reflektor vorgesehen ist.

6. Detektorzelle nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der erste elektrische Leiter ein transversales bzw. querlaufendes Segment umfaßt, das die gleiche Struktur aufweist, wie jedes der photovoltaischen Segmente, und das elektrisch mit gemeinsamen Enden der photovoltaischen Segmente verbunden ist, und daß der erste elektrische Leiter eine elektrisch leitende Streifenschicht in elektrischem Kontakt mit dem ersten Bereich der photovoltaischen Segmente aufweist.

7. Detektorzelle nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der erste elektrische Leiter eine Gruppe von miteinander verbundenen planaren leitenden Streifen umfaßt, die auf dem ersten Bereich der photovoltaischen Segmente in elektrischem Kontakt mit diesem hergestellt sind.

8. Detektorzelle nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite elektrische Leiter einen planaren leitenden Streifen umfaßt, der auf dem zweiten Bereich der photovoltaischen Segmente diesen elektrisch kontaktierend ausgebildet ist.

9. Detektorzelle nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch eine isolierende Schicht zwischen dem Reflektor und wesentlichen Teilen der zweiten Bereiche der photovoltaischen Segmente, wobei der Reflektor mit dem planaren, leitenden Streifen elektrisch nicht in Kontakt steht.

10. Detektorzelle nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein planares Substrat, das mit einer planaren, von den photovoltaischen Segmenten abgewandten Oberfläche des Reflektors verklebt bzw. verbunden ist.

11. Detektorzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Passivierungsschicht, die exponierte Oberflächen der photovoltaischen Segmente und des ersten elektrischen Leiters bedeckt.

12. Detektorzelle nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die photovoltaischen Segmente koplanar sind.

13. Photovoltaische Infrarotdetektorzelle mit einem optisch beugenden Resonanzhohlraum zum Detektieren von einfallender Infrarotstrahlung in einem ausgewählten Wellenlängenbereich, der durch eine erste Wellenlänge und ein zweite, größere Wellenlänge definiert ist und aufweist:

eine Mehrzahl von parallelen, in periodischen Abständen angeordneten, langgestreckten photovoltaischen Segmenten, deren Abstand untereinander ungefähr gleich oder kleiner als die erste Wellenlänge der Infrarotstrahlung ist, wobei jedes Segment einen ersten Bereich eines ersten Leitfähigkeitstyps und einen zweiten Bereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps aufweist, wobei jedes Segment einen p-n-Übergang zwischen den ersten und zweiten Bereichen aufweist und wobei sich der p-n-Übergang im wesentlichen in Längsrichtung des Segments erstreckt;

eine Mehrzahl von ersten linearen Leitersegmenten, die jeweils auf den ersten Bereichen der photovoltaischen Segmente diese elektrisch kontaktierend angeordnet sind, und wenigstens ein zweites lineares Leitersegment in Kontakt mit den ersten linearen Leitersegmenten und die ersten linearen Leitersegmente elektrisch miteinander verbindend;

eine planare, elektrisch leitende Schicht in Kontakt mit den zweiten Bereichen der photovoltaischen Segmente und die zweiten Bereiche der photovoltaischen Segmente miteinander verbindend;

einem leitenden, planaren Reflektor zum Reflektieren der Infrarotstrahlung, wobei der Reflektor die planare, elektrisch leitende Schicht physisch und elektrisch kontaktiert; und

wobei die Detektorzelle als Antwort auf die einfallende Infrarotstrahlung zwischen den elektrisch leitenden miteinander verbundenen ersten linearen Leitersegmenten und dem leitenden Reflektor ein Detektionssignal erzeugt.

14. Detektorzelle nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine reflektierende Oberfläche des Reflektors parallel zu und abgesetzt von einer Ebene angeordnet ist, die eine obere Oberfläche der photovoltaischen Segmente einschließt, und daß der Abstand zwischen der reflektierenden Oberfläche und der Ebene ungefähr ein ungeradzahliges Vielfaches eines Viertels der effektiven Wellenlänge der einfallenden Infrarotstrahlung ist.

15. Detektorzelle nach Anspruch 13 oder 14, gekennzeichnet durch ein planares Substrat, das mit einer planaren, von der leitenden Distanzschicht abgewandten Oberfläche des Reflektors verklebt bzw. verbunden ist.

16. Detektorzelle nach einem der Ansprüche 13 bis 15, gekennzeichnet durch eine Passivierungsschicht, die exponierte Oberflächen der photovoltaischen Segmente der ersten Leitersegmente, der zweiten Leitersegmente und der Abstandsschicht überdeckt.

17. Detektorzelle nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 16, gekennzeichnet durch einen metallischen Leiter, der in physischem und elektrischem Kontakt mit dem zweiten linearen Leiter ausgebildet ist.

18. Detektorzelle nach wenigstens einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die photovoltaischen Segmente koplanar sind.

19. Photovoltaische Infrarotdetektorzelle mit einem optisch beugenden Resonanzhohlraum zum Detektieren von einfallender Infrarotstrahlung in einem ausgewählten Wellenlängenbereich, der durch eine erste Wellenlänge und ein zweite, größere Wellenlänge definiert ist, mit:
einer Mehrzahl von parallelen, in periodischen Abständen angeordneten, langgestreckten ersten photovoltaischen Segmenten (**116, 118, 120, 122 und 124**), deren Abstand untereinander ungefähr gleich oder kleiner als die erste Wellenlänge der Infrarotstrahlung ist, wobei jedes der ersten photovoltaischen Segmente einen ersten Bereich eines ersten Leitfähigkeitstyps und einen zweiten Bereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps aufweist, wobei jedes der ersten Segmente einen p-n-Übergang zwischen den ersten und zweiten Bereichen aufweist und wobei sich der p-n-Übergang im wesentlichen in Längsrichtung des Segments erstreckt;
einer Mehrzahl von parallelen, in periodischen Abständen angeordneten, langgestreckten zweiten photovoltaischen Segmenten (**130, 132, 134, 136**), deren Abstand untereinander ungefähr gleich oder kleiner als die erste Wellenlänge der Infrarotstrahlung ist, wobei jedes der zweiten photovoltaischen Segmente einen ersten Bereich eines ersten Leitfähigkeitstyps und einen zweiten Bereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps aufweist, wobei jedes der zweiten Segmente einen p-n-Übergang zwischen den ersten und zweiten Bereichen aufweist und wobei sich der p-n-Übergang im wesentlichen in Längsrichtung des Segments erstreckt;
wobei die zweiten photovoltaischen Segmente quer zu den ersten photovoltaischen Segmenten angordnet sind und die ersten und zweiten photovoltaischen Segmente eine zweidimensionales Gitter bilden,
wobei die ersten Bereiche der ersten photovoltaischen Segmente elektrisch mit den ersten Bereichen der zweiten photovoltaischen Segmente und die zweiten Bereiche der ersten photovoltaischen Segmente elektrisch mit den zweiten Bereichen der zweiten photovoltaischen Segmente verbunden sind;
einer Mehrzahl von ersten, linearen Leitersegmenten, die auf den ersten Bereichen der ersten photovoltaischen Segmente in elektrischem Kontakt mit diesen positioniert sind, und einer Mehrzahl von zweiten, linearen Leitersegmenten, die auf den ersten Bereichen der zweiten photovoltaischen Segmente in elektrischem Kontakt mit diesen positioniert sind, wobei die ersten linearen Leiter elektrisch mit den zweiten linearen Leitern verbunden sind;
einer planaren, elektrisch leitenden Schicht, die die zweiten Bereiche der ersten und zweiten photovoltaischen Segmente kontaktiert und diese elektrisch miteinander verbindet;
einem leitenden, planaren Reflektor zum Reflektieren der Infrarotstrahlung, wobei der Reflektor die planare, elektrisch leitende Schicht physisch und elektrisch kontaktiert, und
wobei die Detektorzelle als Antwort auf die einfallende Infrarotstrahlung zwischen den elektrisch miteinander verbundenen ersten und zweiten linearen Leitersegmenten und dem leitenden Reflektor ein Detektionssignal erzeugt.

20. Detektorzelle nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß eine reflektive Oberfläche des Reflektors parallel zu und abgesetzt von einer Ebene angeordnet ist, die eine obere Oberfläche der ersten und zweiten photovoltaischen Segmente umfaßt und daß ein Abstand zwischen der reflektierenden Oberfläche und der Ebene ein ungeradzahliges Vielfaches eines Viertels der effektiven Wellenlänge der einfallenden Infrarotstrahlung ist.

21. Detektorzelle nach Anspruch 19 oder 20, gekennzeichnet durch ein planares Substrat, das mit einer

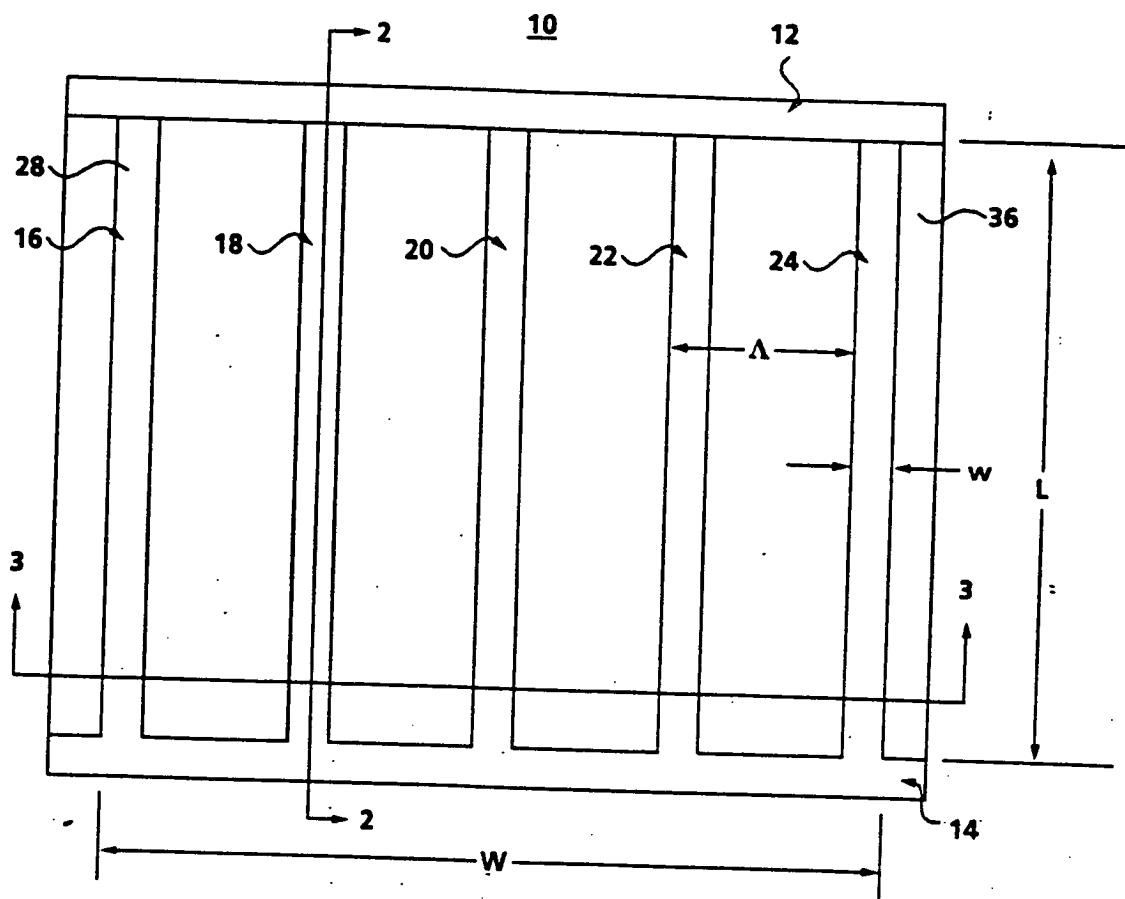
planaren, von der leitenden Distanzschicht abgewandten Oberfläche des Reflektors verklebt bzw. verbunden ist.

22. Detektorzelle nach wenigstens einem der Ansprüche 19 bis 21, gekennzeichnet durch eine Passivierungsschicht, die exponierte Oberflächen der ersten und zweiten photovoltaischen Segmente, der ersten und zweiten linearen Leitersegmente und der Distanzschicht überdeckt.

23. Detektorzelle nach wenigstens einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten und zweiten photovoltaischen Segmente koplanar sind.

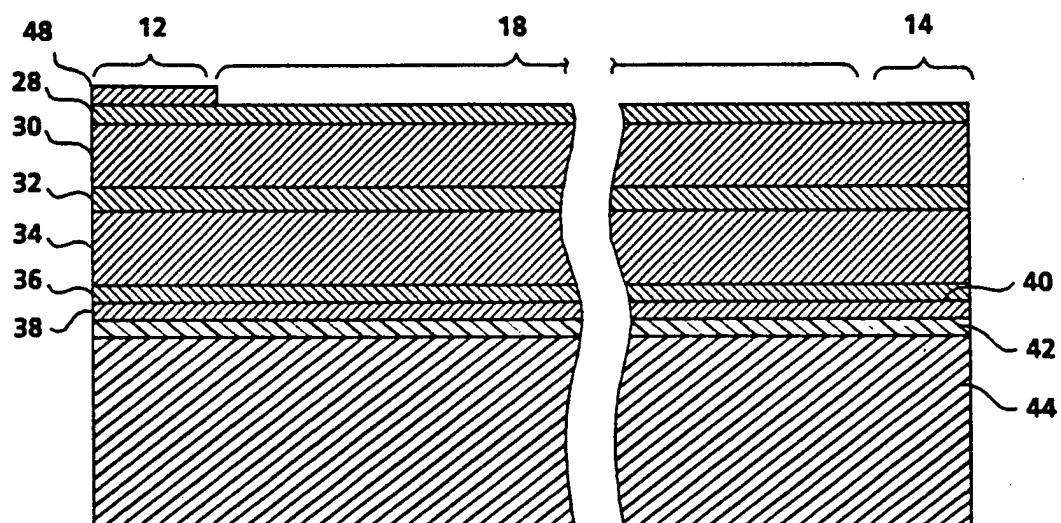
Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



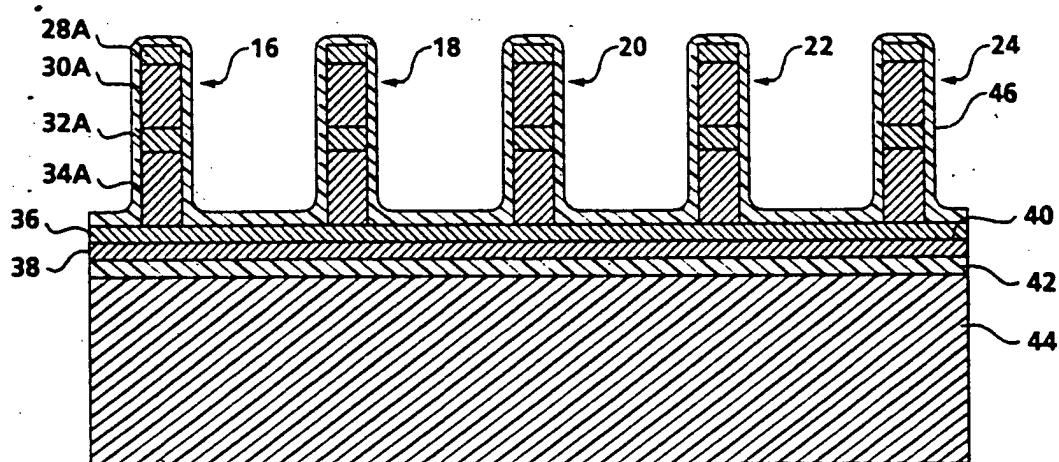
Figur 1

10

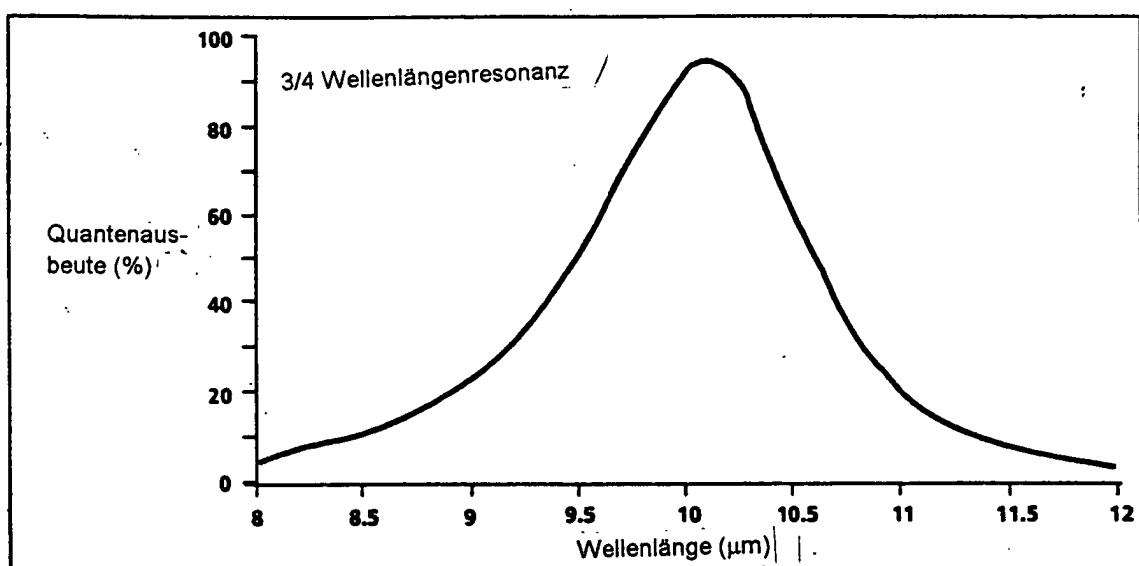


Figur 2

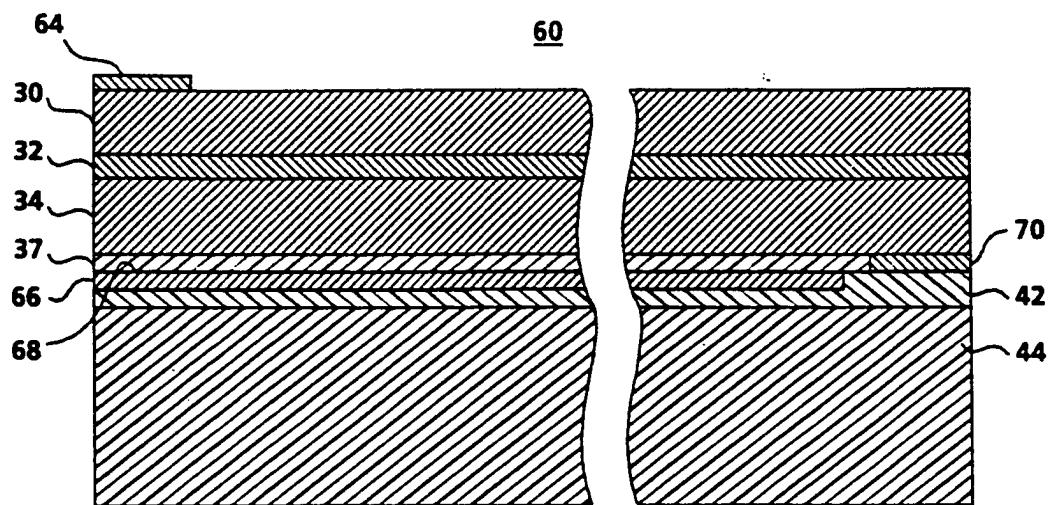
10



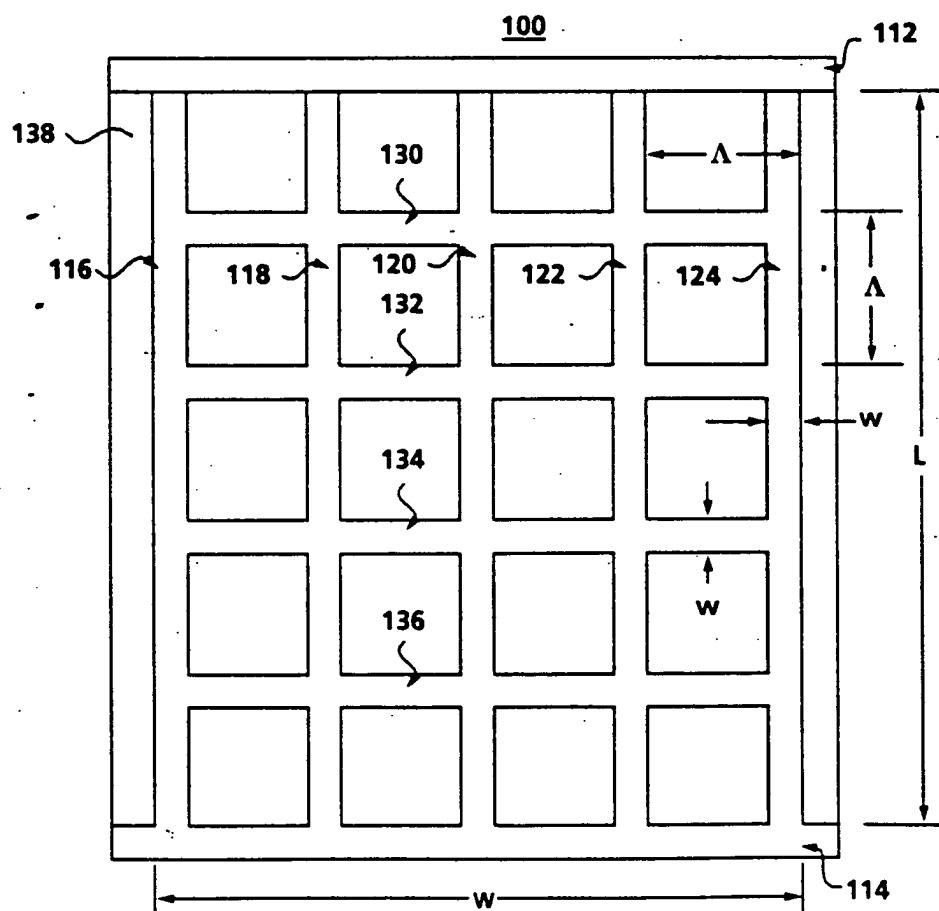
Figur 3



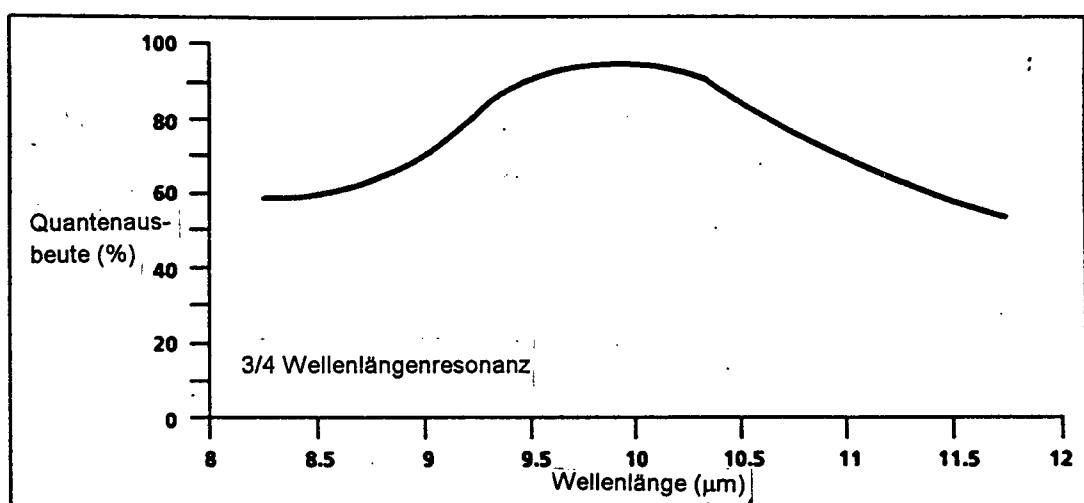
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7