



**PCT**  
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<p>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <b>H01L 27/144</b></p>	<b>A2</b>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 97/29517</b></p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 14. August 1997 (14.08.97)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH97/00025</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 28. Januar 1997 (28.01.97)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 294/96                      5. Februar 1996 (05.02.96)                      CH</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): LABORATORIUM FÜR PHYSIKALISCHE ELEKTRONIK [CH/CH]; Institut für Quantenelektronik, ETH-Hönggerberg, HPT-H6, CH-8093 Zürich (CH).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOLLIGER, Daniel [CH/CH]; Stermattstrasse 32, CH-6005 Luzern (CH). MALCOVATI, Piero [IT/IT]; In der Wässerli 12, CH-8047 Zürich (CH). SARRO, Pasqualina [IT/IT]; Van Barenstraat 35, NL-2628 LC Delft (NL).</p> <p>(74) Anwalt: FREI PATENTANWALTSBÜRO; Hedwigsteig 6, Postfach 768, CH-8029 Zürich (CH).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>

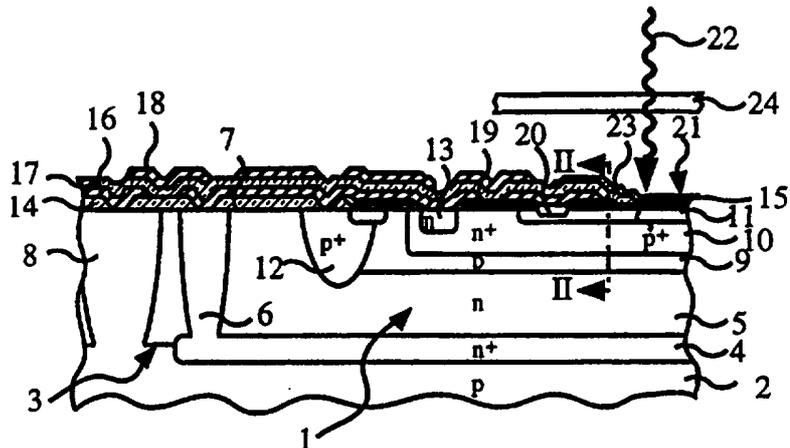
(54) Title: U/V RADIATION DETECTOR

(54) Bezeichnung: UV-STRAHLUNGSDETEKTOR

(57) Abstract

In the u/v radiation detector, a photodiode (1) and an electronic evaluation system with bipolar transistors (29, 33) are integrated on a semiconductor substrate (2). The semiconductor layers used for the photodiode (1) and the bipolar transistors (29, 33) are produced separately, making it possible to optimise the individual components. The electronic evaluation system is produced by means of standard IC process steps, while the photodiode (1) involves additional intermediate steps. The photodiode (1) consists of three interlaced semiconductor layers (9-11) of different conductivity

arranged in an epitaxial layer (5) on the semiconductor substrate (2). The photodiode semiconductor layers (9-11) are in contact through contact windows in oxide layers (14, 15, 17) at contact points with a first structured metal layer (16) forming a conductor system. A second metal layer (18) screens the electronic components from electromagnetic radiation. The spectral sensitivity is increased by means of an interference filter (23) and/or an absorption filter (24).



### (57) Zusammenfassung

Beim UV-Strahlungsdetektor sind eine Photodiode (1) und eine Auswertelektronik mit Bipolartransistoren (29, 33) auf einem Halbleitersubstrat (2) integriert. Die Herstellung der Halbleiterschichten, welche einerseits für die Photodiode (1) und andererseits für die Bipolartransistoren (29, 33) gebraucht werden, erfolgt entkoppelt und erlaubt eine Optimierung der einzelnen Komponenten. Die Auswertelektronik wird mit Standard-IC-Prozessschritten hergestellt, die Photodiode (1) jedoch mit dazwischengeschobenen Zusatzschritten. Die Photodiode (1) besteht aus drei ineinander verschachtelten Halbleiterschichten (9-11) verschiedener Leitfähigkeitstypen, welche in einer Epitaxieschicht (5) auf dem Halbleitersubstrat (2) angeordnet sind. Die Photodioden-Halbleiterschichten (9-11) sind an Kontaktstellen durch Kontaktfenster in Oxidschichten (14, 15, 17) hindurch mit einer ersten, strukturierten Metallschicht (16) kontaktiert, welche ein Leitersystem bildet. Eine zweite Metallschicht (18) schirmt die elektronischen Komponenten vor elektromagnetischer Strahlung ab. Ein Interferenzfilter (23) und/oder ein Absorptionsfilter (24) erhöhen die spektrale Empfindlichkeit.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Letland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

## UV-STRAHLUNGSDETEKTOR

Die Erfindung betrifft einen Strahlungsdetektor, welcher sich speziell für die Detektion von ultravioletter (UV) Strahlung eignet, und ein Verfahren zur Herstellung desselben, gemäss den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

5

Ultraviolett-empfindliche Strahlungsdetektoren aus Halbleitermaterialien, insbesondere aus Silizium, sind bekannt. Sie finden beispielsweise Verwendung in der Flammenüberwachung in Feuerungsanlagen. Allen gemeinsam ist das Bestreben nach einer hohen spektralen Selektivität, d. h. nach einer grossen Empfindlichkeit bei denjenigen UV-Wellenlängen, für welche die Emission einer Brennerflamme hoch ist, und nach einer kleinen Empfindlichkeit bei den übrigen Wellenlängen. Wenn diese Forderung erfüllt ist, wird tatsächlich nur die Brennerflamme überwacht, und Fremdlicht im Verbrennungsraum verursacht keine Fehlsignale.

10  
15

Die Patentschrift EP-296 371 versucht, eine grosse Photodiodenempfindlichkeit im Wellenlängenbereich zwischen 200 nm und 400 nm durch eine Begrenzung der Tiefe des wirksamen Sensorvolumens zu erreichen. Es ist nämlich bekannt (vgl. S. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", Wiley, New

20

York, 1981), dass der grösste Teil von in Silizium eindringender UV-Strahlung bereits nach 10 nm Eindringtiefe im Silizium absorbiert ist. Dagegen ist die Eindringtiefe von längerwelligem Licht (im sichtbaren und infraroten Spektralbereich) um Grössenordnungen grösser, so dass dieses im dünnen Sensorvolumen nahe der Oberfläche praktisch nicht absorbiert wird und nicht zum Ausgangssignal beiträgt. Die Tiefenbegrenzung des wirksamen Sensorvolumens erfolgt mittels einer zusätzlichen, in einem speziellen Fabrikationsschritt im Silizium eingebauten Potentialschwelle. Zusätzliche optische Absorptions- und Interferenzfilter sowie Linsen vor der Photodiode können die spektrale Empfindlichkeit und Selektivität noch verbessern.

Die Photoströme des in der EP-296 371 offenbarten UV-Strahlungsdetektors sind sehr klein, typischerweise 1 pA bis 1 nA. Dies macht den UV-Strahlungsdetektor empfindlich auf äussere elektromagnetische Störungen. Darum ist es nötig, einen Signalverstärker sehr nahe bei der Photodiode anzubringen. Dies kann mit vielen diskreten Komponenten erreicht werden, wie beispielsweise in der Patentschrift CH-680 390. Dadurch wird aber der Montageaufwand gross und die Anordnung komplex; ausserdem sind bei einem solchen Detektor die elektrischen Verbindungswege zwischen den einzelnen Komponenten lang und deshalb störungsanfällig.

In der Patentschrift EP-579 045 werden die Photodiode und die Auswertelektronik auf dem gleichen Chip integriert. Eine solche Integration bringt das Problem mit sich, dass die UV-Photodiode mit begrenzter Tiefe des aktiven Sensorvolumens einen speziellen Herstellungsprozess verlangt, welcher sich nicht mit in der Herstellung von integrierten Schaltkreisen (IC) verwendeten Prozessen verträgt. Darum müssen für die Auswertelektronik bipolare Transistoren und Widerstände entwickelt und verwendet werden. Die EP-579 045

löst dieses Problem, indem sie Dotierungswerte und Schichtdicken der Photodiode und der Transistoren aneinanderkoppelt, d. h. die gleichen dotierten Halbleiterschichten für Photodiode und Transistoren gleichzeitig verwendet. Dabei nimmt man den Nachteil in Kauf, dass ein Kompromiss zwischen den  
5 zum Teil diametral entgegengesetzten Anforderungen an gute UV-Photodioden und an gute Transistoren gesucht werden muss, der für beide Komponenten unbefriedigend ausfällt. Die in der EP-579 045 offenbarte Auswertschaltung hat ausserdem den Nachteil, dass sie spezielle elektronische Elemente wie spezielle Bipolartransistoren oder hochohmige Widerstände verwendet,  
10 welche nicht mit Standardprozessen herstellbar sind.

Bei den oben genannten, zum Stand der Technik gehörenden UV-Strahlungsdetektoren liegt die maximale Empfindlichkeit bei einer Wellenlänge von 310  
15 nm. Dies ist ein schwerwiegender Nachteil bei der Verwendung in der Flammenüberwachung. Bei einer üblichen Anordnung eines Flammendetektors in einer Feuerungsanlage kann nicht ausgeschlossen werden, dass Fremdlicht in den Verbrennungsraum fällt. Gerade Sonnenlicht kann bei 310 nm eine grössere Intensität aufweisen als die Brennerflamme; auch Licht von Fluoreszenzröhren kann bei 310 nm das Flammensignal überdecken. Somit müssten die  
20 oben genannten UV-Strahlungssensoren bei vollkommener Dunkelheit betrieben werden und könnten in industriellen Brennern, in welche Streulicht eindringt, nur mit grosser Unsicherheit eingesetzt werden.

25

Die in der EP-579 045 offenbarte integrierte Anordnung hat auch den Nachteil, dass ungefiltertes Streulicht ungehindert auf die UV-Photodiode und auf die Transistoren fallen kann. Auf diese Weise werden parasitäre Ströme in der Photodiode und in den Transistoren erzeugt, welche erst noch kräftig

verstärkt werden. Fremdlicht in der Brennkammer führt so zu einem grossen Fehlersignal.

- 5 Ein weiterer Nachteil der EP-579 045 besteht in einer sehr langen Antwortzeit von bis zu 2.5 s der elektrischen Auswertschaltung. Dies macht den darin offenbarten UV-Strahlungsdetektor für die Flammenüberwachung in Feuerungsanlagen ungeeignet, denn die Gefahr, dass ein Ausfall der Flamme nicht genügend schnell registriert wird und während Sekunden weiterhin Brennstoff
- 10 unverbrannt in die heisse Brennkammer geführt wird, stellt ein grosses Sicherheitsrisiko dar.

Die Verwendung eines hochohmigen Widerstandes am Ausgang der Verstärkerschaltung zur Transimpedanzumwandlung, wie in der EP-579 045 offenbart, führt dazu, dass der Eingang der nachfolgend zu verwendenden Signalverarbeitungsstufe extrem hochohmig sein muss, was nicht üblich ist. Es kann sogar zu Problemen wegen Inkompatibilität führen.

- 20 Es ist also Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen UV-Strahlungsdetektor zu schaffen, welcher die oben aufgezählten Nachteile nicht aufweist, und ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben. Insbesondere soll die Photodiode und die Auswertelektronik auf einem Chip integriert sein; dabei sollen aber
- 25 die Halbleiterschichten, welche einerseits für die Photodiode und andererseits für die Transistoren gebraucht werden, entkoppelt herstellbar sein, sodass eine getrennte Optimierung des UV-Sensors und der Transistoren ohne gegenseitige Beeinträchtigung erreicht wird. Die maximale Empfindlichkeit des UV-Strahlungsdetektors soll bei einer Wellenlänge unterhalb von 250 nm
- 30 liegen, damit er bei der Verwendung als Flammenüberwacher unempfindlich

- auf Streustrahlung von Sonne und von künstlichen Lichtquellen ist. Das empfindliche Spektralband soll im Herstellungsprozess einstellbar sein.
- 5 Die Aufgabe wird gelöst durch den erfindungsgemässen UV-Strahlungsdetektor und das erfindungsgemässe Verfahren zu seiner Herstellung, wie sie in den unabhängigen Patentansprüchen definiert sind.
- 10 Bei erfindungsgemässen Verfahren zur Herstellung eines UV-Strahlungsdetektors wird von einem bipolaren Standard-Prozess ausgegangen, wie er in der IC-Herstellung üblich ist. Mit einem solchen Standardprozess wird die Auswertelektronik hergestellt. Die Photodiode wird in einigen zusätzlichen, zwischen die Standard-Prozessschritte geschobenen Zusatzschritten hergestellt.
- 15 Somit ist die Herstellung der Photodiode von derjenigen der Auswertelektronik konsequent entkoppelt. Beide Komponenten können also unabhängig voneinander derart optimiert werden, dass jede einzelne Komponente ein ideales Verhalten aufweist. Das erfindungsgemässe Herstellungsverfahren ist derart in Verfahrensschritte aufgeteilt, dass in vorangehenden Verfahrensschritten hergestellte Strukturen durch die in einem Verfahrensschritt angewandten Prozessvarianten und/oder Prozesstemperaturen nicht wesentlich beeinträchtigt werden.
- 20
- 25 Speziell handelt es sich bei den in den Standardprozess eingeschobenen Zusatzschritten um die folgenden: Verwendung eines dünnen TEOS-Oxides mit sehr geringem thermischem Budget, welches verträglich ist mit den bereits vorher in Standard-Prozessschritten hergestellten Bipolartransistoren; Implantationen der Photodiodenschichten; Kontaktierungsmethode für einen dünnen
- 30 PN-Übergang mit implantiertem Polysilizium; zweistufiger Ätzprozess für die

Öffnung der Kontaktfenster; Anpassung der Standard-Bipolartransistoren; kurzes Tempern der Photodiodenschichten, ohne dass die Eigenschaften der Bipolartransistoren verändert würden.

5

Das Basieren auf einem Standard-Prozess hat grosse Vorteile. Erstens ist der Entwurf der Auswertelektronik einfach, weil für Standard-Prozesse meist Bibliotheken mit gängigen elektronischen Komponenten vorliegen, so dass diese nicht neu entwickelt werden müssen. Zweitens ist die Herstellung  
10 schnell und preisgünstig, weil die benötigte Technologie vorhanden ist.

Die erfindungsgemässe Auswertelektronik-Schaltung verwendet einen rückkopplungsgesteuerten Differentialverstärker mit Laststrom an beiden Eingängen und einstellbarer Schrittantwortzeit. In einer Eingangsstufe wird ein konstanter Eingangsstrom zum Photostrom addiert; in einem Differentialverstärker werden der Summenstrom und der konstante Eingangsstrom um einen im wesentlichen gleichen Verstärkungsfaktor verstärkt und in Spannungen umgewandelt, deren Differenz als Ausgangsspannung dient. Für die Auswertelektronik werden nur Standardelemente verwendet.  
15  
20

Vorteilhafte Ausführungsformen des erfindungsgemässen UV-Strahlungsdetektors und vorteilhafte Varianten des Herstellungsverfahrens ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen. Der UV-Detektor kann effizient vor Streulicht abgeschirmt werden, indem auf seiner Oberfläche mit Ausnahme der aktiven Sensorfläche eine zweite Metallisierung aufgebracht wird. Interferenzfilter direkt auf der aktiven Sensorfläche und/oder Absorptionsfilter vor der Photodiode verbessern zusätzlich die spektrale Selektivität.  
25

30

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Figuren detailliert beschrieben.  
Dabei zeigen:

- 5            Fig. 1    einen schematischen Querschnitt durch eine erfindungsgemässe  
                 Photodiode,
- Fig. 2    schematische Dotierungskonzentrationen in der Photodiode gemäss  
                 Fig. 1,
- 10          Fig. 3    schematische elektronische Bandstrukturen in der Photodiode ge-  
                 mäss Fig. 1,
- Fig. 4    einen schematischen Querschnitt durch einen Vertikal-Bipolartran-  
                 sistor,
- 15          Fig. 5    einen schematischen Querschnitt durch einen Lateral-Bipolartransi-  
                 stor,
- Fig. 6    einen schematischen Querschnitt durch ein mit einem erfindungs-  
20            gemässen zweistufigen Ätzprozess hergestelltes Kontaktfenster,
- Fig. 7    ein elektrisches Schaltbild einer Eingangsstufe eines erfindungs-  
                 gemässen Verstärkers,
- 25          Fig. 8    ein elektrisches Schaltbild eines Differentialverstärkers eines erfin-  
                 dungsgemässen Verstärkers und
- Fig. 9    ein elektrisches Schaltbild eines erfindungsgemässen rückkopplungs-  
                 gesteuerten Differentialverstärkers.

Zwecks einer übersichtlicheren Darstellung sind einzelne Elemente der Figuren 1, 4 und 5 in vertikaler Richtung nicht massstabsgetreu eingezeichnet. Aus demselben Grund wird in den Figuren 1, 4, 5 und 6 nicht der gleiche vertikale und horizontale Massstab verwendet.

5

Beim erfindungsgemässen UV-Strahlungsdetektor sind eine Photodiode und eine Auswertschaltung in einer einzigen integrierten Schaltung auf demselben Chip integriert. Der Übersichtlichkeit halber sind aber schematische Querschnitte durch Ausführungsbeispielen von Photodiode und Transistoren in den  
10 Figuren 1 und 4 bzw. 5 getrennt dargestellt. Die integrierte Schaltung befindet sich auf einer Fläche eines im allgemeinen dotierten Halbleitersubstrates und besteht im wesentlichen aus Halbleiterschichten, welche sich durch ihre Lage, Geometrie und Dotierung mit verschiedenen Ladungsträgern verschiedener Konzentrationen unterscheiden.

15

Bei dotierten Halbleitermaterialien muss zwischen Halbleitermaterialien eines ersten Leitfähigkeitstyps P bzw. N und Halbleitermaterialien eines zweiten Leitfähigkeitstyps N bzw. P unterschieden werden. Nachfolgend gilt jeweils die  
20 Annahme, dass der erste Leitfähigkeitstyp P und der zweite Leitfähigkeitstyp N sei; dabei ist jeweils wohlverstanden, dass das Umgekehrte beim erfindungsgemässen UV-Strahlungsdetektor auch möglich ist. Die Bezeichnung P<sup>+</sup> bezeichnet ein Halbleitermaterial des ersten Leitfähigkeitstyps, welches stärker mit Fremdatomen dotiert ist als eines, welches mit P bezeichnet ist; analoges gilt für N<sup>+</sup> bezüglich N.  
25

**Figur 1** zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Ausführungsform einer erfindungsgemässen Photodiode 1. Ein erfindungsgemässer UV-Strahlungsdetektor kann mit einer oder auch mit mehreren solchen Photodioden  
30

ausgestattet sein. Ein Halbleitersubstrat 2 ist vorzugsweise so dotiert, dass es zum ersten Leitfähigkeitstyp P gehört; beispielsweise ist das Halbleitersubstrat 2 eine mit einer Fremdatomkonzentration von  $10^{14}$ - $10^{17}$   $\text{cm}^{-3}$ , vorzugsweise  $5 \cdot 10^{15}$   $\text{cm}^{-3}$  mit Bor oder Phosphor, dotierte einkristalline, vorzugsweise  
5 <100>-orientierte, Siliziumscheibe. Unmittelbar auf einer Fläche 3 des Halbleitersubstrates 2 befindet sich eine erste, strukturierte Halbleiterschicht 4 des zweiten Leitfähigkeitstyps  $\text{N}^+$ , eine sogenannte vergrabene Schicht ("buried layer"). Die ganze Fläche 3 des Halbleitersubstrates 2 ist mit einer zweiten Halbleiterschicht 5 des zweiten Leitfähigkeitstyps N bedeckt, vorzugsweise  
10 einer 3.5  $\mu\text{m}$  dicken Epitaxieschicht aus mit einer Konzentration von  $10^{16}$   $\text{cm}^{-3}$  dotiertem monokristallinem Silizium. Anschlussregionen 6 des zweiten Leitfähigkeitstyps  $\text{N}^+$  verbinden die vergrabene Schicht 4 mit der Oberfläche 7 der Epitaxieschicht 5. Ein Isolationsring 8 (von dem in Fig. 1 nur die eine Querschnittsfläche dargestellt ist) des ersten Leitfähigkeitstyps  $\text{P}^+$  umgibt seitlich  
15 die Photodiode 1 und isoliert sie elektrisch von den übrigen Komponenten des UV-Strahlungsdetektors.

Die Photodiode 1 besteht im wesentlichen aus einer Folge verschieden dotierter strukturierter Halbleiterschichten in der Epitaxieschicht 5. Eine erste Photodioden-Halbleiterschicht 9 des ersten Leitfähigkeitstyps P liegt in einer  
20 Tiefe von ca. 800 bis ca. 350 nm unter der Oberfläche 7 der Epitaxieschicht 5. Eine zweite Photodioden-Halbleiterschicht 10 des zweiten Leitfähigkeitstyps  $\text{N}^+$  schliesst sich daran an und reicht von ca. 350 nm bis ca. 100 nm. Eine  
25 dritte Photodioden-Halbleiterschicht 11 des ersten Leitfähigkeitstyps  $\text{P}^+$  liegt unmittelbar unter der Oberfläche 7 der Epitaxieschicht 5 und ist ca. 100 nm dick. Die drei Photodioden-Halbleiterschichten 9-11 sind ineinander verschachtelt: An ihrem Rand reicht die erste Photodioden-Halbleiterschicht 9 bis zur Oberfläche 7 der Epitaxieschicht 5, so dass die zweite Photodioden-  
30 Halbleiterschicht 10 an der Oberfläche 7 in der ersten Photodioden-Halblei-

terschicht 9 angeordnet ist; analoges gilt für die zweite und dritte Photodioden-Halbleiterschicht 10 und 11. Die erste bzw. zweite Photodioden-Halbleiterschicht 9 bzw. 10 ist mit Anschlussregionen 12 bzw. 13 des ersten Leitfähigkeitstyps P<sup>+</sup> bzw. des zweiten Halbleitertyps N versehen.

5

An der Oberfläche 7 der Epitaxieschicht 5 befinden sich ausserhalb der Photodiode 1 eine erste, strukturierte Oxidschicht 14 sowie im Bereich der Photodiode 1 eine zweite, strukturierte Oxidschicht 15, welche insbesondere bei den Anschlussregionen 12, 13 unterbrochen sind, sodass Kontaktfenster entstehen. Eine erste, strukturierte Metallschicht 16 auf der ersten und zweiten Oxidschicht 14 und 15 bildet ein Leitersystem mit entsprechenden Kontakten bei den vorgesehenen Anschlussregionen 12, 13; sie ist vorzugsweise 600 nm dick und besteht vorzugsweise aus Aluminium mit ca. 1% Silizium. Eine dritte, strukturierte Oxidschicht 17 trennt die erste Metallschicht 16 von einer zweiten, strukturierten Metallschicht 18. Die zweite Metallschicht 18 ist vorzugsweise 600 nm dick und besteht vorzugsweise aus Aluminium mit ca. 1% Silizium. Sie dient hauptsächlich dazu, elektromagnetische Strahlung von den elektronischen Komponenten fernzuhalten und so unerwünschte parasitäre Photostrome und Fehlersignale zu vermeiden. Eine 150-400 nm dicke, vorzugsweise 200 nm dicke polykristalline Siliziumschicht 19 des ersten Leitfähigkeitstyps P<sup>+</sup> bildet im wesentlichen die Anschlussregion 20 der dritten Photodioden-Halbleiterschicht 11. Sie verhindert, dass beim Aufbringen der ersten Metallschicht 16 Metallspitzen durch die aussergewöhnlich dünne dritte Photodioden-Halbleiterschicht 11 dringen ("spiking") und unerwünschte Kurzschlüsse des PN-Übergangs zwischen der dritten und zweiten Photodioden-Halbleiterschicht 10 und 11 bilden.

Über der eigentlichen Photodiode 1 befinden sich keine Metallschichten, so dass dort ein (in Fig. 1 nur teilweise dargestelltes) Eintrittsfenster 21 den Zugang von zu detektierenden elektromagnetischer Strahlung 22 zur Photodiode 1 ermöglicht. Das Eintrittsfenster 21 kann mit einem Interferenzfilter 23  
5 versehen sein, welches nur einen gewünschten Teil des elektromagnetischen Spektrums, beispielsweise UV-Strahlung mit Wellenlängen zwischen 200 nm und 250 nm, durchlässt. Methoden zur Berechnung solcher Interferenzfilter 23 sind an sich bekannt (vgl. B. Baltes, D. Bradley, "Interference filters for the far ultraviolet (1700 Å to 2400 Å)", Appl. Opt. 5, 971-975 (1966)). Mit einer  
10 geeigneten Wahl der Interferenzfilterschichten kann die Transmission des Interferenzfilters 23 auf das gewünschte Spektralband abgestimmt werden, d. h. die Wellenlänge, bei welcher der UV-Strahlungsdetektor seine maximale Empfindlichkeit hat, kann in der Herstellung eingestellt werden. Beispielsweise kann ein Interferenzfilter 23 für die Wellenlänge von 310 nm aus einer  
15 Abfolge der folgenden, in Einfallrichtung des Lichtes aufgezählten Schichten bestehen: 37.5-42.5 nm, vorzugsweise 40.0 nm, SiO<sub>2</sub>; 12.5-17.5 nm, vorzugsweise 15 nm, Al; 70-76 nm, vorzugsweise 72.5 nm, SiO<sub>2</sub>; 17-23 nm, vorzugsweise 19.8 nm, Al; 68-98 nm, vorzugsweise 83 nm, SiO<sub>2</sub>. Diese Beschichtung des Eintrittsfensters 21 dient gleichzeitig zum Schutz der Photodiode 1 vor  
20 äusseren Einwirkungen. Ein zusätzliches, geeignet gewähltes Absorptionsfilter 24, welches vor dem Eintrittsfenster 21 angebracht wird, kann die spektrale Selektivität des UV-Strahlungsdetektors zusätzlich erhöhen.

25 Der Aufbau und die Wirkungsweise der erfindungsgemässen Photodiode 1 gemäss Fig. 1 werden anhand der Figuren 2 und 3 weiter erklärt. **Figur 2** zeigt schematisch Dotierungskonzentrationen C (logarithmisch aufgetragen) in der Photodiode 1 entlang der in Fig. 1 strichpunktiert eingezeichneten Linie II-II, als Funktion der Tiefe d. Darin bedeutet die Linie 25 die Konzentration von  
30 Ladungsträgern des ersten Leitfähigkeitsyps P, die Linie 26 die Konzentration

von Ladungsträgern des zweiten Leitfähigkeitstyps N und die Linie 27 die Konzentration von Ladungsträgern des ersten Leitfähigkeitstyps P<sup>+</sup>. Die einzelnen Gebiete 5, 9, 10, 11 bzw. 19 entsprechen der ersten, zweiten, dritten Photodioden-Halbleiterschicht bzw. der polykristallinen Siliziumschicht.

5

Figur 3 zeigt schematisch die elektronischen Bandstrukturen in der Photodiode entlang der in Fig. 1 strichpunktiert eingezeichneten Linie II-II, d. h. elektrische Potentiale E als Funktion der Tiefe d. Die Linie E<sub>v</sub> entspricht dem Valenzband, die Linie E<sub>c</sub> dem Leitungsband; E<sub>F</sub> stellt das Fermi-Niveau dar. Deutlich erkennbar ist eine Potentialbarriere 28 im Bereich der zweiten Photodioden-Halbleiterschicht 10. Durch das Eintrittsfenster 21 einfallende elektromagnetische Strahlung 22 wird in den Halbleitermaterialien absorbiert und erzeugt Ladungsträger. Wenn das entsprechende Halbleitermaterial zum ersten Leitfähigkeitstyp P gehört, so sind die Majoritätsträger Löcher und die Minoritätsträger Elektronen, und umgekehrt. Ein Verlauf der Bandstrukturen, wie er in Fig. 3 dargestellt ist, ist eine direkte Konsequenz der in Fig. 2 dargestellten Dotierprofile und hat folgende zwei Vorteile.

10

15

20

25

Erstens trägt die Bandstruktur zur spektralen Selektivität der Photodiode bei. Eine solche Selektivität wird erreicht durch die von der zweiten und dritten Photodioden-Halbleiterschicht verursachten Potentialbarriere 28 für Löcher und Elektronen, welche die Tiefe des aktiven Sensorvolumens begrenzt. Durch diese Begrenzung wird erreicht, dass praktisch nur UV-Strahlung mit ihrer kleinen Eindringtiefe (von typischerweise 10 nm oder weniger in Silizium) zum Photodioden-Ausgangssignal beiträgt, längerwellige elektromagnetische Strahlung mit grösseren Eindringtiefen hingegen nicht. Ladungsträger, welche jenseits der Potentialbarriere 28 erzeugt werden, können die Potential-

barriere 28 nämlich nicht überqueren und tragen daher nicht zum Photodioden-Ausgangssignal bei.

5 Zweitens werden die Ladungsträger durch die in Fig. 3 dargestellte Bandstruktur örtlich voneinander getrennt, bevor sie rekombinieren können. Die grösste Dotierkonzentration befindet sich in der zweiten Oxidschicht 15 über der Photodiode 1; die Löcher driften wegen des internen elektrischen Feldes zur Grenze zwischen der dritten Photodioden-Halbleiterschicht 11 und der  
10 zweiten Oxidschicht 15 hin, während sich die Elektronen in die umgekehrte Richtung bewegen.

Die Dotierkonzentrationen und die Bandstrukturen im Bereich des Eintrittsfensters 21 verlaufen qualitativ ähnlich wie in den Fig. 2 und 3.

15

In den Figuren 4 und 5 sind mit dem erfindungsgemässen Verfahren auf demselben Halbleitersubstrat 2 herstellbare, an sich bekannte Bipolartransistoren dargestellt. Sie weisen die bereits anlässlich der Fig. 1 beschriebene vergrabene Schicht 4 mit einer Anschlussregion 6, die Epitaxieschicht 5 und einen  
20 Isolationsring 8 auf. Die Bipolartransistoren sind, analog zur Photodiode 1 von Fig. 1, mit einer ersten Oxidschicht 14 mit Kontaktfenstern, einer ersten Metallschicht 16, einer dritten Oxidschicht 17 und einer zweiten Metallschicht 18 bedeckt.

25

**Figur 5** zeigt einen Vertikal-Bipolartransistor 29, beispielsweise vom NPN-Typ. Die Epitaxieschicht 5 wirkt als Kollektor, wobei die vergrabene Schicht 4 den Kollektorwiderstand vermindert. Die Basis wird von einer ca. 200 nm  
30 dicken ersten, strukturierten Transistor-Halbleiterschicht 30 des ersten Leitfä-

higkeitstyps P mit einer Anschlussregion 31 gebildet. Der Emitter wird durch eine zweite, strukturierte Transistor-Halbleiterschicht 32 des zweiten Halbleitertyps N gebildet.

5

**Figur 6** zeigt einen Lateral-Bipolartransistor 33, beispielsweise vom PNP-Typ. Hier werden Kollektor 34 und Emitter 35 analog zur Basis-Anschlussregion 31 des Vertikal-Bipolartransistors von Fig. 5 gebildet. Die Epitaxieschicht 5 wirkt als Basis.

10

Beim erfindungsgemässen Verfahren zur Herstellung eines UV-Strahlungsdetektors wird von einem Halbleitersubstrat 2 mit einer Fläche 3 ausgegangen. Vorzugsweise wird ein dotiertes Halbleitersubstrat 2 gewählt, welches zum ersten Leitfähigkeitstyp P gehört, beispielsweise eine mit einer Fremdatomkonzentration von  $10^{14}$ - $10^{17}$   $\text{cm}^{-3}$ , vorzugsweise  $5 \cdot 10^{15}$   $\text{cm}^{-3}$  mit Bor oder Phosphor, dotierte einkristalline, vorzugsweise  $\langle 100 \rangle$ -orientierte, Siliziumscheibe mit einer polierten Fläche 3. Das erfindungsgemässe Verfahren besteht im wesentlichen aus den folgenden nacheinander durchgeführten Verfahrensschritten:

20

- a) Vorbehandlung der einen Fläche 3 des Halbleitersubstrates 2,
- b) Herstellung von Bipolartransistoren 29, 33 und von Teilen mindestens einer Photodiode 1 über dieser Fläche 3 des Halbleitersubstrates 2,
- c) Herstellung mindestens einer Photodiode 1 durch aufeinanderfolgendes  
25 Implantieren verschiedener Ionen mit die Tiefe der Implantation bestimmenden Energien durch entsprechend strukturierte Photolackschichten und
- d) Herstellung von Kontaktfenstern zur Kontaktierung von Transistoren 29, 33 und Photodiode 1 sowie Herstellung eines Leitersystems.

30

Die Vorbehandlung der Fläche 3 des Halbleitersubstrates 2 umfasst die Herstellung der vergrabenen Schicht 4 und der Epitaxieschicht 5, die Herstellung der Isolationsringe 8 und der Verbindungen 6 und die Deposition der ersten Oxidschicht 14; sie ist an sich bekannt. Es treten einige Prozessschritte mit  
5 hohen Temperaturen, typischerweise über 1000 °C, auf.

Die vergrabene Schicht 4 ist eine erste, mittels Photolithographie strukturierte Halbleiterschicht des zweiten Leitfähigkeitstyps N<sup>+</sup> und wird vorzugsweise  
10 mittels Ionenimplantation, beispielsweise von Antimon-Ionen, hergestellt und anschliessend bei ca. 1200 °C getempert. Die zweite Halbleiterschicht 5 des zweiten Leitfähigkeitstyps N wird vorzugsweise mittels Epitaxie deponiert und ist beispielsweise eine Arsen-dotierte einkristalline Siliziumschicht mit einer  
15 Arsenkonzentration von ca. 10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup>. Die Isolationsringe 8 des ersten Leitfähigkeitstyps P<sup>+</sup> und die Verbindungen 6 des zweiten Leitfähigkeitstyps N<sup>+</sup> werden mittels Photolithographie definiert und mittels Implantation und Diffusion von Fremdatomen hergestellt. Die erste Oxidschicht 14 wird vorzugsweise thermisch bei einer Temperatur von ca. 1000 °C deponiert, sodass sie eine Dicke von ca. 330 nm aufweist.

20

Die Herstellung von Bipolartransistoren ist an sich bekannt; nachfolgend wird ein für die Erfindung vorteilhafter Prozess beschrieben. Für die Vertikal-Bipolartransistoren 29 (wie in Fig. 4 dargestellt) werden vorzugsweise zunächst die  
25 Basis-Anschlussregionen 31, dann die Basen 30 selbst und danach die Emitter 32 hergestellt. Gleichzeitig mit den entsprechenden Transistorelementen werden im erfindungsgemässen Verfahren Anschlussregionen 12, 13 der Photodiode hergestellt. Die Basis-Anschlussregionen 31 und die Photodioden-Anschlussregionen 12 des ersten Halbleitertyps P<sup>+</sup> werden vorzugsweise durch  
30 Implantation von Bor-Ionen durch eine entsprechend strukturierte Photolack-

schicht hergestellt. Die Basen 30 des ersten Leitfähigkeitstyps P werden vorzugsweise durch Implantation von Bor-Ionen durch eine entsprechend strukturierte Photolackschicht hergestellt. Zur Herstellung der Emitter 32 und der Photodioden-Anschlussregionen 13 des zweiten Leitfähigkeitstyps N wird vorzugsweise eine vorgängig strukturierte Oxidmaske, welche durch die geeignet strukturierte erste Oxidschicht 14 gebildet werden kann, benötigt; durch diese hindurch werden vorzugsweise Arsen-Ionen implantiert. Abschliessend werden die Dotierungen in einer chemisch inerten Umgebung aktiviert und getempert, vorzugsweise während 10-90 Minuten bei 900-1250 °C in einer Argon-Umgebung.

Für die Lateral-Bipolartransistoren 33 (wie in Fig. 5 dargestellt) werden Kollektoren 34 und Emitter 35 des ersten Leitfähigkeitstyps P<sup>+</sup> analog zur Herstellung der Basis-Anschlussregionen 31 bei den Vertikal-Bipolartransistoren 29 hergestellt.

Die oben beschriebenen Schritte des erfindungsgemässen Herstellungsverfahrens lassen sich mit in der IC-Herstellung üblichen Prozessen ausführen. Für die nachfolgend beschriebene Herstellung der Photodiode 1 werden teilweise neue Spezialprozessschritte gebraucht. Aus der erfindungsgemässen konsequenten Trennung der Transistorherstellung und der Photodiodenherstellung ergibt sich der entscheidende Vorteil, dass beide Komponenten unabhängig voneinander optimiert werden können.

Vor der Photodiodenherstellung wird zunächst die aktive Photodiodenregion definiert, indem ein Fenster in der ersten Oxidschicht 14 mittels Photolithographie und Ätzen hergestellt wird. Danach wird eine zweite Oxidschicht 15

als Implantoxid aufgebracht. Dies geschieht vorzugsweise durch Deposition einer 10-40 nm dicken Tetra-Äthyl-Ortho-Silikat-(TEOS-)Oxidschicht mittels Tiefdruck-Chemical-Vapor-Depositon-Verfahren, beispielsweise bei 700 °C während 4 Minuten. Eine solche TEOS-Oxidschicht 15 hat den Vorteil, dass  
5 ihre Herstellung mit einem geringen thermischen Budget auskommt.

Die drei Photodioden-Halbleiterschichten 9-11 der (in Fig. 1 dargestellten) Photodiode 1 werden vorzugsweise nacheinander von der ersten, am tiefsten  
10 liegenden, bis zur dritten, unmittelbar unter der Oberfläche der Epitaxieschicht 5 liegenden Photodioden-Halbleiterschicht hergestellt. Die Implantationsenergien bestimmen die Tiefe, die implantierten Ionen den Leitfähigkeitstyp und die Flächendichte die Konzentration der Schichten 9-11. Für die erste Photodioden-Halbleiterschicht 9 werden Ionen des ersten Leitfähigkeitstyps, beispielsweise Bor-Ionen mit einer Flächendichte von  $10^{12}$ - $10^{14}$  cm<sup>-2</sup>, vorzugsweise  $3 \cdot 10^{13}$  cm<sup>-2</sup>, und einer Energie von 120-300 keV, vorzugsweise  
15 170 keV, implantiert. Für die zweite Photodioden-Halbleiterschicht 10 werden Ionen des zweiten Leitfähigkeitstyps, beispielsweise Phosphor-Ionen mit einer Flächendichte von  $10^{12}$ - $5 \cdot 10^{14}$  cm<sup>-2</sup>, vorzugsweise  $3 \cdot 10^{13}$  cm<sup>-2</sup>, und mit einer  
20 Energie von 90-250 keV, vorzugsweise 170 keV, implantiert. Für die dritte Photodioden-Halbleiterschicht 11 werden Ionen des ersten Leitfähigkeitstyps, beispielsweise Bor-Ionen mit einer Flächendichte von  $5 \cdot 10^{13}$ - $5 \cdot 10^{15}$  cm<sup>-2</sup>, vorzugsweise  $1.5 \cdot 10^{14}$  cm<sup>-2</sup>, und mit einer Energie von 4-12 keV, vorzugsweise  
25 8 keV, implantiert.

25

Zur Kontaktierung von Bipolartransistoren 29, 33 und Photodiode 1 werden Kontaktfenster an den vorgesehenen Kontaktstellen hergestellt. Dies geschieht mittels Photolithographie und Ätzen der jeweils vorhandenen Oxidschichten  
30 14, 15 an den vorgesehenen Kontaktstellen.

Zuerst wird eine elektrische Kontaktierung der dritten Photodioden-Halbleiterschicht 11 vorbereitet. Dazu wird die zweite Oxidschicht 15 von vorgesehenen Kontaktstellen mittels Photolithographie und Ätzen entfernt. Eine 150-400 nm dicke, vorzugsweise 200 nm dicke, polykristalline Siliziumschicht 19 wird mittels Tiefdruck-Chemical-Vapor-Deposition-Verfahren über der Photodiode 1 oder auch auf der ganzen Fläche des bearbeiteten Halbleitersubstrates deponiert. An den vorgesehenen Kontaktstellen werden Ionen des ersten Leitfähigkeitstyps  $P^+$  durch eine Photolackschicht implantiert, beispielsweise Bor-Ionen mit einer Flächendichte von  $10^{14}$ - $5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ , vorzugsweise  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$ , und mit einer Energie von 20-50 keV, vorzugsweise 25 keV. Die so entstandene hohe Dotierkonzentration am Übergang von der polykristallinen Siliziumschicht 19 zum monokristallinen Halbleiter erlaubt einen niederohmigen Kontakt zur nur ca. 100 nm dicken dritten Photodioden-Halbleiterschicht 11, ohne deren Dotierprofil am Übergang zur zweiten Photodioden-Halbleiterschicht 10 zu beeinträchtigen. Danach wird, falls nötig, die polykristalline Siliziumschicht 19 mittels Photolithographie und Ätzen ausserhalb der Photodiode 1 entfernt. Schliesslich folgen zwei Temperschnitte, deren thermisches Budget so beschaffen ist, dass die bestehenden Dotierprofile nicht ausdiffundieren. In einem ersten Temperschnitt wird das bearbeitete Halbleitersubstrat während 10-200 Minuten, vorzugsweise 20 Minuten, bei 550-750 °C, vorzugsweise 600 °C, in einer chemisch inerten Umgebung, vorzugsweise Ar-Umgebung, getempert. In einem zweiten Temperschnitt wird das bearbeitete Halbleitersubstrat während 3-20 s, vorzugsweise während ca. 5 s, bei 900-1200 °C, vorzugsweise bei 970 °C, in einer chemisch inerten Umgebung, vorzugsweise in  $N_2$ -Umgebung, getempert.

Die polykristalline Siliziumschicht 19 wirkt bei der nachfolgenden Metallisierung als Diffusionsbarriere und verhindert wirkungsvoll, dass beim Auf-

bringen der ersten Metallschicht 16 Metallspitzen durch die aussergewöhnlich dünne dritte Photodioden-Halbleiterschicht 11 dringen ("spiking") und unerwünschte Kurzschlüsse des PN-Übergangs zwischen der dritten Photodioden-Halbleiterschicht 11 und zweiten Photodioden-Halbleiterschicht 10 bilden.  
5 Darüber hinaus erlauben die Dotierverhältnisse eine niederohmige Kontaktierung der dritten Photodioden-Halbleiterschicht 11.

Ein Ätzen von Kontaktfenstern an denjenigen Stellen, an denen sich die erste  
10 Oxidschicht 14 und die zweite Oxidschicht 15 übereinander befinden, mit bekannten, einfachen Ätzprozessen würde grosse Nachteile mit sich bringen. Einerseits wird nämlich mit Nassätzen ein starkes Unterätzen der zweiten Oxidschicht beobachtet. Andererseits führt Trockenätzen zu einer rauhen Kontaktfläche, was einen inakzeptabel hohen Kontaktwiderstand zur  
15 Folge hat. Um diese Nachteile zu beseitigen, wird im erfindungsgemässen Herstellungsverfahren ein neuer, zweistufiger Ätzprozess angewendet. In einem ersten Ätzschritt wird, beispielsweise während ca. 30 Sekunden, trocken geätzt. In einem zweiten Ätzschritt wird das verbleibende Oxid (ca. 20 nm bis 50 nm) nass weggeätzt. Der Ätz-Endpunkt kann beispielsweise mit einem  
20 Hydrophobie-Test festgestellt werden. **Figur 6** zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein mit dem erfindungsgemässen zweistufigen Ätzprozess hergestelltes Kontaktfenster in einem Stadium, in welchem Photolack 36 noch nicht entfernt ist.

25

Es ist bekannterweise vorteilhaft, unmittelbar vor der Metallisierung das ganze bearbeitete Substrat kurz in Flusssäure (HF) zu tauchen, um eine natürlich aufgewachsene Oxidschicht zu entfernen.

30

Zur Herstellung von elektrischen Kontakten und eines Leitersystems wird eine erste Metallschicht 16 auf die bearbeitete Oberfläche aufgebracht, vorzugsweise eine ca. 600 nm dicke Schicht aus Aluminium und 1 % Silizium mittels Kathodenzerstäubung bei ca. 300 °C. Diese erste Metallschicht 16 wird  
5 mittels Photolithographie und Ätzen strukturiert.

Es ist vorteilhaft, praktisch die gesamte Detektoroberfläche mit Ausnahme des Eintrittsfensters 21 mit einer zweiten Metallschicht 18 zu bedecken, welche die Aufgabe hat, die elektronischen Komponenten von unerwünschter  
10 elektromagnetischer Strahlung abzuschirmen. Zu diesem Zweck wird eine dritte Oxidschicht 17 auf die bearbeitete Oberfläche deponiert, vorzugsweise 800 nm mittels Plasmadeposition bei 350 °C. Diese dritte Oxidschicht 17 kann mittels Photolithographie und Ätzen strukturiert werden. Über die dritte  
15 Oxidschicht 17 wird die zweite Metallschicht 18 aufgebracht, vorzugsweise eine ca. 1400 nm dicke Schicht aus Aluminium und 1 % Silizium mittels Kathodenzerstäubung bei ca. 300 °C. Auch diese zweite Metallschicht 18 kann mittels Photolithographie und Ätzen strukturiert werden. Abschliessend wird das bearbeitete Halbleitersubstrat bei ca. 350-500 °C, vorzugsweise bei 400 °C,  
20 in einer chemisch inerten Umgebung getempert.

Vorteilhafterweise wird ein Interferenzfilter 23 mit Transmission im Ultraviolett, welches gleichzeitig als Schutzschicht dienen kann, auf dem Eintrittsfenster 21 der Photodiode 1 hergestellt. Ein Interferenzfilter 23 mit maximaler  
25 Transmission um die Wellenlänge von 310 nm herum kann beispielsweise hergestellt werden, indem zuerst das auf der aktiven Sensorfläche verbleibende Oxid 15, 17 mittels Photolithographie und Ätzen bis auf 68-98 nm, vorzugsweise 83 nm, reduziert wird. Dann werden auf das auf das Eintrittsfenster 21  
30 durch eine entsprechend strukturierte Photolithographieschicht nacheinander

- eine 17-23 nm dicke, vorzugsweise 19.8 nm dicke, Al-Schicht, danach eine 70-76 nm dicke, vorzugsweise 72.5 nm dicke, SiO<sub>2</sub>-Schicht, danach eine 12.5-17.5 nm dicke, vorzugsweise 15.0 nm dicke, Al-Schicht und danach eine 37.5-42.5 nm dicke, vorzugsweise 40.0 nm dicke, SiO<sub>2</sub>-Schicht mittels Bedampfen bzw.
- 5 Kathodenzerstäubung aufgebracht. Abschliessend wird das bearbeitete Halbleitersubstrat während 10-60 Minuten, vorzugsweise 15 Minuten, bei 350-500 °C, vorzugsweise 400 °C, in einer chemisch inerten Umgebung, vorzugsweise in N<sub>2</sub>-Umgebung, getempert. Andere Schichtenkombinationen, die zu Interferenzfiltern 23 mit anderen Transmissionseigenschaften führen, sind möglich.
- 10 Durch die Herstellung eines geeigneten Interferenzfilters 23 kann also die spektrale Empfindlichkeit und Selektivität des UV-Strahlungsdetektors im erfindungsgemässen Verfahren gewählt und eingestellt werden.
- 15 Die Auswertelektronik soll einerseits das von der Photodiode 1 gelieferte elektrische Signal verarbeiten können und andererseits durch das beschriebene Herstellungsverfahren herstellbar sein. Die von der erfindungsgemässen Photodiode 1 gelieferten Photoströme I<sub>Ph</sub> liegen im Picoampère-Bereich; die oben beschriebenen, mit dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellten
- 20 Bipolartransistoren 29, 33 sind aber für weniger kleine Ströme geeignet. Deshalb wird in der Auswertelektronik ein konstanter Eingangsstrom I<sub>Bi</sub> zum Photostrom I<sub>Ph</sub> symmetrisch hinzugefügt; so können die Bipolartransistoren 29, 33 in ihrem optimalen Arbeitspunkt betrieben werden.
- 25
- In Fig. 7 ist eine beispielhafte Ausführungsform einer Eingangsstufe 37 der erfindungsgemässen Auswertschaltung dargestellt. Sie erlaubt eine gute elektrische Isolation der Photodiode 1 gegenüber den elektronischen Komponenten des UV-Strahlungsdetektors sogar bei höheren Temperaturen. Die reele
- 30 Photodiode 1 ist in Fig. 6 schematisch aufgeteilt in eine ideale UV-Photod-

iode 1.1, welche nur auf ultraviolette elektromagnetische Strahlung empfindlich ist, und eine parasitäre IR-Photodiode 1.2, welche auf sichtbare und IR-Strahlung empfindlich ist. Der konstante Eingangsstrom  $I_{Bi}$  wird in jeden von drei identischen Eingangsästen 38-40 eingespiesen. In einem ersten Eingangsast 38 fließt nur den konstante Eingangsstrom  $I_{Bi}$ . Ein zweiter Eingangsast 39 ist mit der anodischen Seite der idealen UV-Photodiode 1.1 verbunden. Dort wird der UV-Photostrom  $I_{Ph}$  zum konstanten Eingangsstrom  $I_{Bi}$  addiert. In einem dritten Eingangsast 40 werden die kathodischen Ströme der beiden Photodioden zum konstanten Eingangsstrom  $I_{Bi}$  addiert und zur Erde geführt; ebenso zur Erde geführt wird der anodische Strom der IR-Photodiode. Drei identische Transistoren  $Q_{11}$ ,  $Q_{13}$  und  $Q_{15}$  werden durch eine konstante Spannung  $V_{Bi}$  auf der gleichen Basis-Emitter-Spannung gehalten. In einem ersten Ausgangsast 41 der Eingangsstufe 37 fließt der konstante Eingangsstrom  $I_{Bi}$ , während in einem zweiten Ausgangsast 42 der Summenstrom  $I_{Bi} + I_{Ph}$  fließt. Diese Ströme werden in einen Differentialverstärker 43 geführt.

Eine beispielhafte Ausführungsform eines Differentialverstärkers 43 der erfindungsgemässen Auswertschaltung ist in Fig. 8 dargestellt; es handelt sich um einen total symmetrischen zweistufigen Differentialverstärker 43. Die zwei Eingangsströme werden durch zwei Eingangsäste 44, 45 in den Differentialverstärker 43 geführt. Dort werden sie mit den Faktoren  $\beta_{16}$  und  $\beta_{18}$  bzw.  $\beta_{19}$  und  $\beta_{20}$  multipliziert.

Figur 9 zeigt ein Schaltschema einer beispielhaften Ausführungsform einer erfindungsgemässen Auswertschaltung. Sie besteht aus der Eingangsstufe 37, einem Verstärker 46 und einer Rückkopplungsschleife/Stromquelle 47. Die Versorgungsspannung beträgt beispielsweise  $V_{in} = 5$  V. Die beiden im Differentialverstärker 43 verstärkten Ströme werden im Verstärker 46 mit einem

Faktor  $K$  in die Transistoren  $Q_{24}$  bzw.  $Q_{23}$  gespiegelt und schliesslich durch Widerstände  $R_3$  bzw.  $R_2$  in Spannungen umgewandelt, deren Differenz  $V_o$  als Ausgangsspannung dient. Die erfindungsgemässe Auswertschaltung ist völlig symmetrisch, d. h.  $Q_{16} = Q_{20}$ ,  $Q_{18} = Q_{19}$  und  $R_2 = R_3$ . In diesem Fall ist die

5 Ausgangsspannung  $V_o$  gegeben durch

$$V_o = \beta_{16}\beta_{18}KR_3I_{Ph} ;$$

$V_o$  ist also unabhängig vom Eingangsstrom  $I_{Bi}$ . Beispielhafte Werte der vorkommenden Grössen sind  $\beta_{16} \approx \beta_{18} = 140$ ,  $K = 2$ ,  $R_3 = 28 \text{ k}\Omega$ . Damit ergibt sich für Photoströme  $I_{Ph}$  im Bereich von Bruchteilen von Picoampère bis

10 Nanoampère ein resultierender Verstärkerwiderstand von  $V_o/I_{Ph} = 1.1 \text{ G}\Omega$ ; ein Photodioden-Ausgangsstrom von  $I_{Ph} = 1 \text{ pA}$  wird also in eine Ausgangsspannung von ca.  $V_o \approx 1 \text{ mV}$  umgewandelt.

15 Wegen des grossen resultierenden Verstärkerwiderstandes und um das Rauschen tief zu halten, muss der Eingangsstrom  $I_{Bi}$  klein und gut kontrolliert sein. Dies wird durch die Rückkopplungsschleife/Stromquelle 47 gewährleistet, welche eine teilweise Kopie der Verstärkerstufe 46 ist:  $Q_4 = Q_{18}$ ,  $Q_5 = Q_{16}$  und  $R_1 = R_3$ . Die Rückkopplungsschleife/Stromquelle 47 speist den richtigen

20 Eingangsstrom  $I_{Bi}$  in den Verstärker 46 zurück. Die Stabilität der Rückkopplungsschleife wird durch einen Kompensationskondensator 48 von beispielsweise  $C_c = 12 \text{ pF}$  gewährleistet. Durch Verändern einer Referenzspannung  $V_{Bi}$  kann der Eingangsstrom  $I_{Bi}$  präzise gemäss

$$\Delta I_{Bi} = \Delta V_{Bi} / (\beta^2 R_1)$$

25 eingestellt werden.

Die Ladungsträger, welche die Sperrschichtkapazität der Photodiode 1 von typischerweise  $2.7 \text{ nF}$  aufladen müssen, werden sowohl vom Eingangsstrom  $I_{Bi}$

30 als auch vom Photostrom  $I_{Ph}$  geliefert. Der Eingangsstrom  $I_{Bi}$  in der Grössen-

ordnung von einigen Nanoampère ist viel grösser als der Photostrom  $I_{ph}$  in der Grössenordnung von einigen Picoampère. Durch Einstellen des Eingangstroms  $I_{Bi}$  zwischen 1 nA und 10 nA kann daher die Schrittantwortzeit zwischen 500 ms und 50 ms eingestellt werden. Dies ist ein grosser Vorteil der erfindungsgemässen Schaltung.

Wenn der UV-Photodetektor mit mehreren Photodioden 1 ausgestattet ist, so muss die Schaltung leicht modifiziert werden. Solche Modifikationen sind für den Fachmann einfach vorzunehmen und gehören ebenfalls zur Erfindung.

## PATENTANSPRÜCHE

5

1. Verfahren zur Herstellung eines UV-Strahlungsdetektors, bestehend aus mindestens einer UV-Photodiode (1) und einer Auswertelektronik mit Bipolartransistoren (29, 33), wobei Photodiode (1) und Auswertelektronik auf einer Fläche (3) eines Halbleitersubstrates (2) eines ersten Leitfähigkeitstyps (P) hergestellt werden, **gekennzeichnet durch** folgende nacheinander durchgeführte Verfahrensschritte:
  - a) Vorbehandlung der einen Fläche (3) des Halbleitersubstrates (2),
  - 15 b) Herstellung von Bipolartransistoren (29, 33) und Teilen der mindestens einen Photodiode (1) über der einen Fläche (3) des Halbleitersubstrates (2),
  - c) Herstellung der mindestens einen Photodiode (1) durch aufeinanderfolgendes Implantieren verschiedener Ionen mit die Tiefe der Implantation bestimmenden Energien durch entsprechend strukturierte Photolackschichten und
  - 20 d) Herstellung von Kontaktfenstern zur Kontaktierung der Bipolartransistoren (29, 33) und der Photodioden (1) sowie Herstellung eines Leitersystems.
  - 25
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Verfahrensschritt Prozessvarianten und/oder Prozesstemperaturen derart
- 30

gewählt werden, dass in vorherigen Verfahrensschritten hergestellte Strukturen nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

- 5     3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Halbleitersubstrat (2) eine mit einer Fremdatomkonzentration von  $10^{14}$ - $10^{17}$   $\text{cm}^{-3}$  dotierte einkristalline Siliziumscheibe des ersten Leitfähigkeitstyps (P) gewählt wird.
- 10
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorbehandlung der einen Fläche (3) des Halbleitersubstrates (2) in den folgenden Schritten besteht:
- 15     a1) Herstellung einer ersten, mittels Photolithographie strukturierten Halbleiterschicht (4) eines zweiten Leitfähigkeitstyps ( $\text{N}^+$ ) mittels Ionenimplantation,
- 20     a2) Herstellung einer zweiten, unstrukturierten Halbleiterschicht (5) des zweiten Leitfähigkeitstyps (N) mittels Epitaxie,
- 25     a3) Herstellung von Isolationsringen (8) des ersten Leitfähigkeitstyps ( $\text{P}^+$ ) mittels Photolithographie, Implantation und Diffusion von Fremdatomen,
- a4) Herstellung von Verbindungen (6) des zweiten Leitfähigkeitstyps ( $\text{N}^+$ ) zur ersten Halbleiterschicht mittels Photolithographie, Implantation und Diffusion von Fremdatomen und

- a5) Deposition einer ersten Oxidschicht (14) mittels thermischer Oxidation.
- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Herstellung von Bipolartransistoren (29, 33) und Teilen der mindestens einen Photodiode (1) in den folgenden Schritten besteht:
- 10 b1) Implantation von Ionen des ersten Leitfähigkeitstyps ( $P^+$ ) durch eine entsprechend strukturierte Photolackschicht zwecks Herstellung von Anschlussregionen (12, 31, 34, 35),
- b2) Implantation von Ionen des ersten Leitfähigkeitstyps (P) durch eine entsprechend strukturierte Photolackschicht zwecks Herstellung von Basen (30),
- 15 b3) Implantation von Ionen eines zweiten Leitfähigkeitstyps (N) durch eine entsprechend strukturierte Oxid-Schicht zwecks Herstellung von Emittern (32) und Anschlussregionen (13) und
- 20 b4) Aktivierung und Tempern der Dotierungen während 10-90 Minuten bei 900-1250 °C in einer chemisch inerten Umgebung.
- 25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-5, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die mindestens eine Photodiode (1) drei mittels Photolithographie strukturierte Photodioden-Halbleiterschichten (9-11) hergestellt werden, wobei die Implantationsenergien so gewählt werden, dass eine erste Photodioden-Halbleiterschicht (9) am tiefsten, eine dritte Photodioden-Halbleiterschicht (11) unmittelbar unter der Oberfläche (7) und eine zweite
- 30 Photodioden-Halbleiterschicht (10) zwischen der ersten (9) und der drit-

ten (11) Photodioden-Halbleiterschicht zu liegen kommt, und wobei für die erste (9) und dritte (11) Photodioden-Halbleiterschicht Ionen des ersten Leitfähigkeitstyps (P, P<sup>+</sup>) und für die zweite Photodioden-Halbleiterschicht (10) Ionen des zweiten Leitfähigkeitstyps (N<sup>+</sup>) implantiert werden.

5

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwecks Herstellung der ersten Photodioden-Halbleiterschicht (9) Bor-Ionen mit einer Flächendichte von  $10^{12}$ - $10^{14}$  cm<sup>-2</sup> und einer Energie von 120-300 keV implantiert werden, zwecks Herstellung der zweiten Photodioden-Halbleiterschicht (10) Phosphor-Ionen mit einer Flächendichte von  $10^{12}$ - $5 \cdot 10^{14}$  cm<sup>-2</sup> und mit einer Energie von 90-250 keV implantiert werden und dass zwecks Herstellung der dritten Photodioden-Halbleiterschicht (11) Bor-Ionen mit einer Flächendichte von  $5 \cdot 10^{13}$ - $5 \cdot 10^{15}$  cm<sup>-2</sup> und mit einer Energie von 4-12 keV implantiert werden.

10

15

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4-7, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Photodiodenherstellung zunächst im Bereich der mindestens einen Photodiode die erste Oxidschicht (14) mittels Photolithographie und Ätzen entfernt wird und danach eine 10-40 nm dicke zweite Oxidschicht (15) als Tetra-Äthyl-Ortho-Silikat (TEOS) mittels Tiefdruck-Chemical-Vapor-Depositon-Verfahren deponiert wird.

20

25

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-8, **dadurch gekennzeichnet**, dass Kontaktfenster zur Kontaktierung von Bipolartransistoren (29, 33) und Photodioden (1) hergestellt werden, indem Oxid (14, 15) von vorgesehenen Kontaktstellen mittels Photolithographie und Ätzen entfernt wird.

30

10. Verfahren nach den Ansprüchen 8 und 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Entfernung von Oxid (14, 15) an denjenigen Stellen, an denen sich die erste Oxidschicht (14) und die zweite Oxidschicht (15) übereinander befinden, ein zweistufiger Ätzprozess angewendet wird, wobei in einem ersten Ätzschritt trocken geätzt und in einem zweiten Ätzschritt verbleibendes Oxid nass weggeätzt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6-10, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach der Herstellung der Photodioden-Halbleiterschichten (9-11) eine elektrische Kontaktierung der dritten Photodioden-Halbleiterschicht (11) vorbereitet wird, indem Oxid (15) von vorgesehenen Kontaktstellen mittels Photolithographie und Ätzen entfernt wird, eine 150-400 nm dicke polykristalline Siliziumschicht (19) mittels Tiefdruck-Chemical-Vapor-Deposition-Verfahren über der Photodiode (1) deponiert wird, Halbleiterschichten des ersten Leitfähigkeitstyps ( $P^+$ ) mittels Photolithographie und Ionenimplantation mit einer Flächendichte von  $10^{14}$ - $5 \cdot 10^{15}$   $\text{cm}^{-2}$  und mit einer Energie von 20-50 keV hergestellt werden und das bearbeitete Halbleitersubstrat während 10-200 Minuten bei 550-750 °C in einer chemisch inerten Umgebung und während 3-20 s bei 900-1200 °C in einer chemisch inerten Umgebung getempert wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-11, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwecks Herstellung von elektrischen Kontakten und eines Leitersystems eine erste Metallschicht (16) mittels Kathodenerstäubung aufgebracht, mittels Photolithographie und Ätzen strukturiert und bei 350-500 °C in einer chemisch inerten Umgebung getempert wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-12, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwecks Abschirmung von elektronischen Komponenten vor elektromagnetischer Strahlung eine zweite Metallschicht (18) über den elektronischen Komponenten aufgebracht wird.

5

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine dritte Oxidschicht (17) deponiert und mittels Photolithographie und Ätzen strukturiert wird, die zweite Metallschicht (18) aufgebracht und mittels Photolithographie und Ätzen strukturiert wird und das bearbeitete Halbleitersubstrat bei 350-500 °C in einer chemisch inerten Umgebung getempert wird.

10

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-14, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf der mindestens einen Photodiode (1) ein Interferenzfilter (23) mit Transmission im ultravioletten Spektralbereich hergestellt wird.

15

16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Interferenzfilter (23) hergestellt wird, indem die Oxiddicke auf der Photodiode (1) mittels Photolithographie und Ätzen bis auf 68-98 nm reduziert wird, auf die verbleibende Oxidschicht über der Photodiode (1) durch eine entsprechend strukturierte Photolithographieschicht nacheinander eine 17-23 nm dicke Al-Schicht, eine 70-76 nm dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht, eine 12.5-17.5 nm dicke Al-Schicht und eine 37.5-42.5 nm dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht mittels Bedampfen bzw. Kathodenzerstäubung aufgebracht werden und das bearbeitete Halbleitersubstrat während 10-60 Minuten bei 350-500 °C in einer chemisch inerten Umgebung getempert wird.

20

25

30

17. UV-Strahlungsdetektor, erhältlich durch das Verfahren nach einem der Ansprüche 1-16, bestehend aus mindestens einer Photodiode (1) mit einem Eintrittsfenster (21) für elektromagnetische Strahlung (22) und einer Auswertelektronik mit Bipolartransistoren (29, 33), wobei die mindestens eine Photodiode (1) und die Auswertschaltung in einer zweiten Halbleiterschicht (5) des zweiten Leitfähigkeitstyps (N) auf einer Fläche (3) eines Halbleitersubstrates (2) eines ersten Leitfähigkeitstyps (P) angeordnet sind, eine erste Halbleiterschicht (4) des zweiten Leitfähigkeitstyps (N<sup>+</sup>) sich zwischen dem Halbleitersubstrat (2) und der zweiten Halbleiterschicht (5) befindet, die mindestens eine Photodiode (1) im wesentlichen aus einer ersten Photodioden-Halbleiterschicht (9) des ersten Leitfähigkeitstyps (P), aus einer zweiten Photodioden-Halbleiterschicht (10) des zweiten Leitfähigkeitstyps (N<sup>+</sup>) und aus einer dritten Photodioden-Halbleiterschicht (11) des ersten Leitfähigkeitstyps (P<sup>+</sup>) besteht, die zweite Photodioden-Halbleiterschicht (10) an der Oberfläche (7) in der ersten Photodioden-Halbleiterschicht (9) angeordnet ist und die dritte Photodioden-Halbleiterschicht (11) an der Oberfläche (7) in der zweiten Photodioden-Halbleiterschicht (10) angeordnet ist und die Photodioden-Halbleiterschichten (9-11) an Kontaktstellen durch Kontaktfenster in Oxidschichten (14, 15) an der Oberfläche der zweiten Halbleiterschicht (5) hindurch mit einer ersten, strukturierten Metallschicht (16) kontaktiert sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich an der Kontaktstelle der dritten Photodioden-Halbleiterschicht (11) eine polykristalline Siliziumschicht (19) des ersten Leitfähigkeitstyps (P<sup>+</sup>) zwischen der dritten Photodioden-Halbleiterschicht (11) und der ersten Metallschicht (16) befindet.
18. UV-Strahlungsdetektor nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die polykristalline Siliziumschicht (19) 150-400 nm dick ist.

19. UV-Strahlungsdetektor nach Anspruch 17 oder 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich über der ersten Metallschicht (16) eine dritte Oxidschicht (17) und darüber eine zweite Metallschicht (18) befindet, welche zur Abschirmung von elektronischen Komponenten vor elektromagnetischer Strahlung dient.
- 5
20. UV-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 17-19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Eintrittsfenster (21) mit einem optischen Interferenzfilter (23) versehen ist.
- 10
21. UV-Strahlungsdetektor nach einem der Ansprüche 17-20, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor dem Eintrittsfenster (21) ein optisches Absorptionsfilter (24) angebracht ist.
- 15
22. Auswertschaltung zur Auswertung eines Photostroms  $I_{ph}$  für einen UV-Strahlungssensor nach einem der Ansprüche 17-21, **gekennzeichnet durch** eine Eingangsstufe (37), in welcher ein konstanter Eingangsstrom ( $I_{Bi}$ ) zum Photostrom ( $I_{ph}$ ) addiert wird, woraus ein Summenstrom ( $I_{Bi} + I_{ph}$ ) resultiert, und durch einen Verstärker (46) mit Bipolartransistoren (29, 33), in welchem der Summenstrom ( $I_{Bi} + I_{ph}$ ) und der konstante Eingangsstrom ( $I_{Bi}$ ) um einen im wesentlichen gleichen Verstärkungsfaktor verstärkt und in Spannungen umgewandelt werden, deren Differenz als Ausgangsspannung ( $V_o$ ) dient.
- 20
- 25
23. Auswertschaltung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass der konstante Eingangsstrom ( $I_{Bi}$ ) so gross ist, dass die Bipolartransistoren
- 30

(29, 33) des Verstärkers (46) an ihrem optimalen Arbeitspunkt betrieben werden.

- 5 24. Auswertschaltung nach Anspruch 22 oder 23, **gekennzeichnet durch** eine Rückkopplungsschleife (47), in welcher der konstante Eingangsstrom ( $I_{Bi}$ ) kontrolliert und stabilisiert wird.
- 10 25. Auswertschaltung nach einem der Ansprüche 22-24, **dadurch gekennzeichnet**, dass der konstante Eingangsstrom ( $I_{Bi}$ ) mit einer Referenzspannung ( $V_{Bi}$ ) einstellbar ist.
- 15 26. Auswertschaltung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schrittantwortzeit der Schaltung durch Einstellen des konstanten Eingangsstroms ( $I_{Bi}$ ) einstellbar ist.





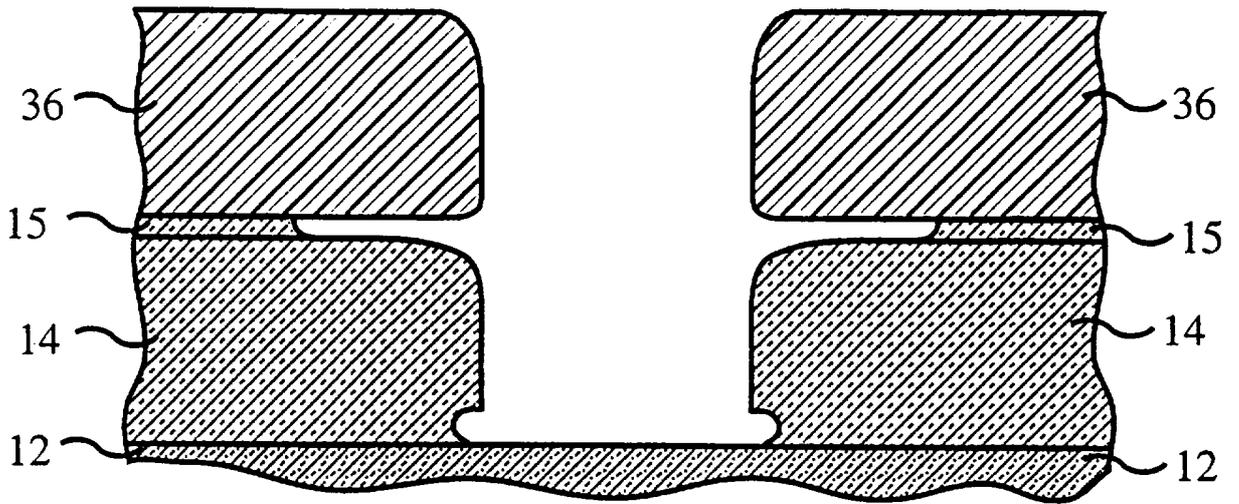


Fig. 6

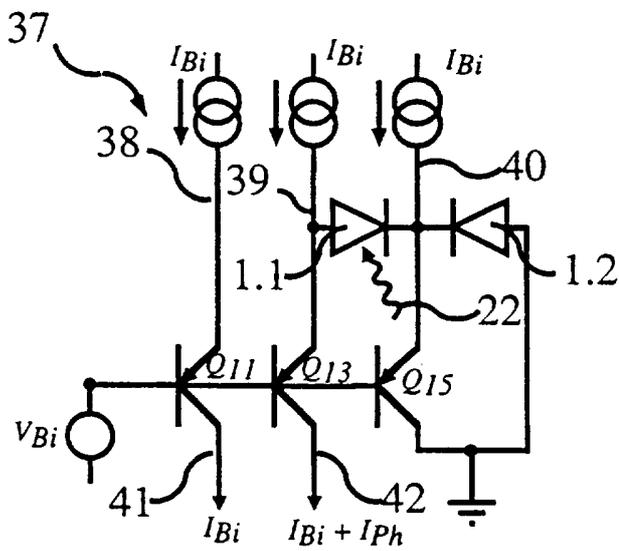


Fig. 7

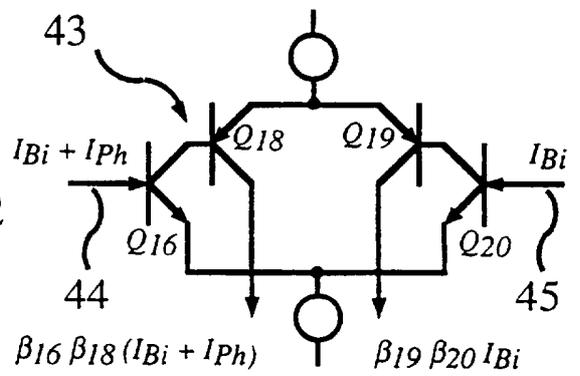


Fig. 8

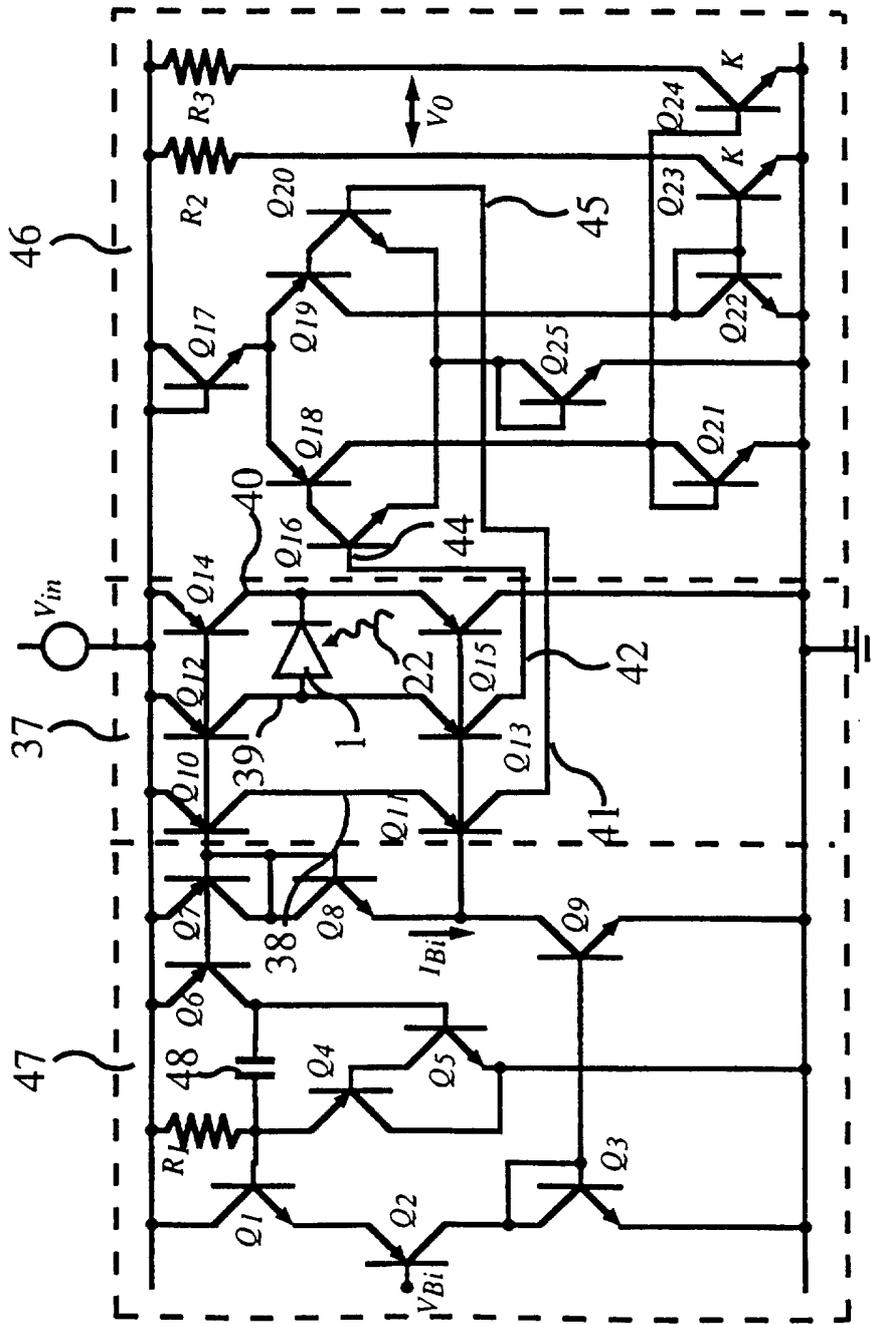


Fig. 9