



(10) **DE 10 2011 076 635 B3** 2012.10.18

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 076 635.9**
 (22) Anmeldetag: **27.05.2011**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **18.10.2012**

(51) Int Cl.: **H01L 27/146 (2012.01)**

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

(73) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
 angewandten Forschung e.V., 80686, München,
 DE**

(72) Erfinder:
**Durini Romero, Daniel, 50670, Köln, DE;
 Brockherde, Werner, 47259, Duisburg, DE;
 Hosticka, Bedrich J., 45478, Mülheim, DE**

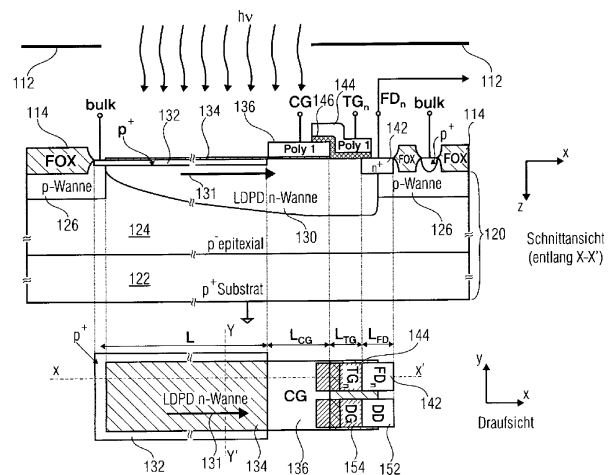
(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler &
 Partner, 82049, Pullach, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	10 2009 020 218	B3
US	5 625 210	A
US	5 903 021	A

(54) Bezeichnung: **Detektor zur Detektion elektromagnetischer Strahlung mit Transfersteuerelektrode und Abflusssteuerelektrode**

(57) Hauptanspruch: Detektor zur Detektion elektromagnetischer Strahlung mit folgenden Merkmalen:
 einem Halbleitersubstrat (120), das einen ersten Dotierungstyp aufweist;
 einer Wanne (130) in dem Halbleitersubstrat (120), wobei die Wanne (130) einen zweiten Dotierungstyp aufweist, wobei der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp verschieden sind, und wobei die Wanne (130) in einer Richtung parallel zu einer Oberfläche des Halbleitersubstrats (120) eine ansteigende Dotierstoffkonzentration aufweist;
 zwei oder mehreren Detektoranschlussdotierungsbereichen (142, 152), die zumindest teilweise in der Wanne (130) in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet sind, wobei die Detektoranschlussdotierungsbereiche (142, 152) den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne (130) aufweisen, wobei die Detektion der elektromagnetischen Strahlung auf einer Erzeugung von freien Ladungsträgern durch die elektromagnetische Strahlung in einem Detektionsbereich der Wanne (130) basiert, der eine maximale Dotierstoffkonzentration aufweist, die niedriger ist als eine maximale Dotierstoffkonzentration des Anschlussbereichs der Wanne (130);
 zwei oder mehreren von dem Halbleitersubstrat (120) elektrisch isolierten Transfersteuerelektroden (144, 154) zum...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Anmeldung bezieht sich auf Detektoren zur Detektion elektromagnetischer Strahlung, die auf einem in einem Halbleitermaterial hervorgerufenen Photoeffekt basieren. Weiterhin bezieht sich die Anmeldung auf ein Verfahren zum Herstellen eines Detektors und auf ein Verfahren zum Detektieren elektromagnetischer Strahlung.

[0002] Viele industrielle Anwendungen erfordern lineare Photosensoren (Zeilensensoren), die eine hohe Empfindlichkeit und ein niedriges Rauschen bzw. ein gutes Rauschverhalten aufweisen. Aktuelle Fortschritte auf dem Gebiet der CMOS-Bildgebung („complementary-metal-oxide-substrate“ Bildgebung) ermöglichen die Entwicklung und Herstellung solcher Sensoren mittels standardmäßig vorhandener CMOS-Technologie zu geringen Kosten, während sie eine komplette Mitintegration der dazugehörigen Sensorelektronik auf denselben Chip ermöglichen.

[0003] Einige Anwendungen erfordern neben einem geringen Rauschen auch ein schnelles Ansprechen, eine Möglichkeit zur mehrfachen Belichtung (engl. „multiple shutter“), ein nicht-destruktives Auslesen und eine große photoaktive Fläche. Eine relativ neue Entwicklung auf diesem Gebiet bilden Lateraldriftfeld-Photodetektoren (engl. „lateral drift-field photo detector“), wie sie beispielsweise in der deutschen Patentschrift DE 10 2009 020 218 B3 offenbart sind. Durch ein ansteigendes Dotierungsprofil in einem Detektionsbereich eines solchen Photodetektors wird erreicht, dass photogenerierte Ladungsträger gezielt überwiegend in eine Richtung schnell driften, was ein schnelles Auslesen des Photodetektors begünstigt. Anwendungsbeispiele für Zeilendetektoren bzw. -sensoren, die auf der CMOS-Technologie mit geringem Rauschen, hoher Geschwindigkeit, Mehrfachbelichtungsmöglichkeit, nicht-destruktivem Auslesen, großer photoaktiver Fläche und lateralem Driftfeld basieren, sind:

- Entladungsinduzierte Spektrographie
- Laserinduzierte Spektrographie
- Röntgenspektroskopie
- Materialprüfung
- Fluoreszenzbildgebung
- dreidimensionale Inspektions-/Positionierungssysteme
- medizinische Spektroskopie
- wissenschaftliche Anwendungen

[0004] Für mehrere Spektroskopie- und andere ähnliche Anwendungen, wo CMOS-Photosensoren benutzt werden oder vorgesehen sind, ist eine der Hauptanforderungen z. B. eine ausreichende optische Empfindlichkeit auch in dem ultravioletten (UV) Teil des Spektrums ($\lambda = 130 \text{ nm}$ bis 400 nm), ein nicht-destruktives Auslesen, welches eine Signal-

überwachung, Ladungsakkumulation über mehrere Integrationsperioden und sogar Rauschreduzierung durch z. B. Aufwärtsrampenmittelung (engl. „up-the-ramp-averaging technique“) ermöglicht, sowie die Möglichkeit des Einführens mehrerer Integrationsfenster und mehrfachen Belichtungen mit der Fähigkeit, zwischen einzelnen Pixeln zu unterscheiden. Das Hauptziel bei dieser Art von Anwendungen ist nicht, ein digitales Bild zu erzeugen, sondern in der Lage zu sein, eine einfallende Strahlung zu detektieren und ihren exakten Strahlungsintensitätswert im optischen Spektrum von UV bis zum nahen Infrarot (NIR) des Spektrums, d. h. ungefähr von $\lambda = 130 \text{ nm}$ bis 1100 nm , zu messen.

[0005] Um die Vielfalt der Anforderungen für viele verschiedene Anwendungen zu berücksichtigen, ist eine sehr hohe Vielseitigkeit und Flexibilität sowohl hinsichtlich der Technologie als auch bei Entwicklungsaspekten erforderlich, insbesondere wenn die Detektoren mit Hilfe der CMOS-Technologie hergestellt werden sollen. Diese Technologie bietet Signalverarbeitung auf Pixelebene („in-pixel processing“), Fähigkeiten zum Adressieren einzelner Pixel, den „camera-on-a-chip“-Ansatz und relativ geringe Kosten im Vergleich zu anderen Festkörperbildgebungstechnologien und vor allem im Vergleich zu dem in der Spektrographie so häufig verwendeten Ansatz der Photoelektronenvervielfacherröhren (engl. „photo-multiplier tubes“, PMT).

[0006] Einer der Hauptvorteile der PMT-Technologie ist bis jetzt, dass, obwohl sie sehr viel kostspieliger ist als die Halbleitertechnologie, sie die Fähigkeit zur nahezu sofortigen Zeitdiskriminierung durch die Integration der einfallenden Signale besitzt. Dies erlaubt die Diskriminierung bzw. Unterscheidung zwischen den „erwünschten“ photoinduzierten Ladungsträgern und den „nicht-erwünschten“, was eine sehr häufig vorkommendes Erfordernis bei Laser-angeregter oder Entladungs-angeregter Spektrographie ist.

[0007] Die derzeit bekannten Halbleiter-basierten Ansätze, die sich normalerweise auf Ladungsgekoppelte Vorrichtungen (engl. „charge-coupled devices“, CCD) konzentrieren, sowohl Front- als auch Rückseiten-belichtet, bieten sehr akzeptable Leistungen wenn verglichen mit den Photoelektronenvervielfacherröhren im Hinblick auf spektrale Ansprechempfindlichkeit und Rauschabstand oder Dynamikbereich. Nichtsdestotrotz ist ein zusätzliches Problem, das bei spektrographischen Anwendungen und insbesondere bei der Materialanalyse auftritt, dass unterschiedliche chemische Verbindungen unterschiedliche Reflektionswerte haben und somit sehr unterschiedliche Photosignale erzeugen. In der Praxis bedeutet dies, dass bestimmte Elemente dermaßen stark reflektieren, sodass der bestrahlte Pixel nahezu sofort in die Sättigung gerät, während andere Elemente so schwach reflektieren, sodass das Signal

nicht stark genug ist, um überhaupt detektiert zu werden. Das Definieren eines einzelnen Ladungsintegrationsfensters für beide Fälle kann extrem schwierig sein. Aus diesem Grund ergibt sich, dass das Überwachen der Ausgangssignale individuell von jedem einzelnen Pixel ein Muss ist, genauso wie die Möglichkeit, den Startpunkt und die Länge des Integrationsfensters zu definieren. Beide Vorgänge sind nahezu unmöglich zu erreichen mit Standard CCD-Ansätzen aufgrund des Fehlens von Fähigkeiten zum nicht-destruktiven Auslesen und der Möglichkeit von wahlfreier Pixeladressierung. Diese beiden Aspekte sind Vorteile eines CMOS-Ansatzes.

[0008] Was CMOS auf aktiven Pixel basierenden Sensoren (CMOS APS) angeht, so erlauben diese ein nicht-destruktives Auslesen, eine echte Fähigkeit zur korrelierten Doppelabtastung (engl. „correlated double sampling“) zum Minimieren des niederfrequenten Rauschens, des kTC-Rücksetzrauschens, wahlfreie Pixeladressierung, geringen Dunkelstrom aufgrund von z. B. standardmäßiger Siliziumoberflächenfestlegung in „pinned“ Photodioden (PPD) oder von vergrabenen Steuerelektroden („buried gates“) in Photosteuerelektroden-basierten Pixeln (engl. „photogate-based“ PG).

[0009] Aus dem US Patent Nr. 5,903,021 ist eine partiell „gepinnte“ Photodiode für Festkörper-Bildsensoren bekannt. Demnach umfasst ein gepixelter Bildsensor eine teilweise gepinnte Photodiode, die einen Halbleiter eines ersten Leitfähigkeitstyps umfasst, der an einer Oberfläche Halbleiters gebildet ist. Die Photodiode ist aus einem zweiten Leitfähigkeitstyp ausgebildet, der entgegengesetzt gegenüber dem ersten Leitfähigkeitstyp ist. Eine „Pinning-Schicht“ ist auf der Oberfläche über mindestens einem Teil der Photodiode ausgebildet, was einen gepinnten Photodioden-Bereich schafft, wobei die Pinning-Schicht vom ersten Leitfähigkeitstyp ausgebildet. Ein nicht-gepinnter Bereich ist nahe der Oberfläche in einem Bereich außerhalb des Abschnitts ausgebildet, um die Pinning-Schicht zu bilden. Der nicht-gepinnte Bereich ist als schwimmende Region ausgebildet, die als Kondensator verwendet wird. Die teilweise gepinnte Photodiode ist nützlich bei der Erhöhung des Füllfaktors von Photodetektoren bei der Verwendung der Photodioden-Technologie.

[0010] Die großen Herausforderungen in all diesen Ansätzen sind jedoch die Bereitstellung von Fähigkeiten zur richtigen Zeitdiskriminierung bzw. -Unterscheidung und zur Ladungstrennung bzw. Separierung, die z. B. durch Photoelektronenvervielfacheröhren ermöglicht werden. Diese Aspekte werden sogar noch wichtiger, wenn sie auf einen Zeilensensor mit Pixellängen angewendet werden, die zwischen mehreren hundert Mikrometern und sogar einigen Millimeter oszillieren können, was ein zusätzliches Problem hinzufügt hinsichtlich des Dunkelstroms und

anderer Leckmechanismen, wenn Integrationszeiten im Spiel sind, die zwischen mehreren hundert Mikrosekunden und mehreren Sekunden variieren.

[0011] Einige dieser Punkte können gelöst werden, wenn ein laterales Driftfeld in dem photoaktiven Bereich eines CMOS-basierten aktiven Photosensors induziert wird, der auf dem Ladungstransferprinzip basiert, welches ein nicht-destruktives Auslesen, Ladungsakkumulation über mehrere Integrationsperioden und Überwachung des Ausgangssignals erlaubt. Diese Art von CMOS-Vorrichtungen bilden Teil des Standes der Technik, wie er in dem oben erwähnten deutschen Patent mit der Nr. DE 10 2009 020 218 B3 (derselben Erfinder wie die vorliegend offenbarte technische Lehre) für Pixel mit großen photoaktiven Flächen erwähnt wird, wo ein intrinsisches Driftfeld in dem „pinned“ Teil der Vorrichtung durch einen Konzentrationsgradienten induziert wird, der in der Wanne vom entgegengesetzten Dotierungstyp wie das Siliziumsubstrat in Richtung des nicht-„gepinnten“ Teils des Detektors erzeugt wird. Der Photodetektor umfasst eine vergrabene Sammelelektrode („buried collection gate“, CG) und eine vergrabene Transfersteuerelektrode („buried transfer gate“, TG) und schließlich eine schwebende Diffusion („floating diffusion“) von demselben Dotierungstyp wie die erwähnte Wanne. Als Beispiel, kommt es bei Laser-induzierter oder Entladungs-induzierter Spektroskopie beginnend mit dem Laserimpuls bzw. dem Entladungsimpuls für eine bestimmte Zeitspanne häufig zu einer elektromagnetischen Strahlung, die unerwünscht ist oder die getrennt auszulesen ist, da sie beispielsweise hauptsächlich von einem während des Laser- bzw. Entladungsimpulses entstehenden Plasmas erzeugt wird und somit keine bzw. geringe oder getrennt zu berücksichtigende Rückschlüsse auf das zu untersuchende Material zulässt. Auch die aufgrund dieser elektromagnetischen Strahlung erzeugten Ladungsträger sind für die Zwecke einer bestimmten Messung unerwünscht oder getrennt zu betrachten und auszulesen. Erst zeitlich danach entstehen erwünschte oder getrennt auszulesende überwiegend Ladungsträger. Es wäre wünschenswert, einen Halbleiter-basierten Photodetektor zu schaffen, mit dem die innerhalb eines ersten Zeitintervalls erzeugten Ladungsträger von den innerhalb eines zweiten oder mehreren folgenden Zeitintervallen erzeugten Ladungsträgern getrennt werden können. Bei den meisten derzeit eingesetzten Halbleiter-basierten Photodetektoren scheitert dies bereits daran, dass der Abtransport der Ladungsträger lediglich auf einer relativ langsamen thermischen Diffusion beruht, so dass die erwünschten oder später entstehenden Ladungsträger bereits erzeugt werden, während ein Großteil der in einen bestimmten vorherigen Zeitintervall erzeugten Ladungsträger noch im Detektionsbereich des Photodetektors vorhanden sind. Des Weiteren lässt sich bei derzeit bekannten Photodetektoren die Trennung

von Ladungsträgern nicht mit einer Ladungsakkumulierung über mehrere Integrationsperioden kombinieren, da mit jedem Integrationszyklus typischerweise auch wieder erneut Ladungsträger auftreten die getrennt zu betrachten sind. Es besteht somit ein Bedarf an Detektoren zur Detektion elektromagnetischer Strahlung, die die Fähigkeit der Ladungsträgerakkumulierung über mehrere Integrationsperioden mit der Möglichkeit des Sortierens der Ladungsträger innerhalb eines Integrationszyklus verbindet.

[0012] Die sich daraus ergebende Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1, ein Verfahren zum Herstellen eines Detektors gemäß Anspruch 12 und ein Verfahren zum Detektieren elektromagnetischer Strahlung gemäß Anspruch 13 gelöst.

[0013] Ein Ausführungsbeispiel gemäß der hierin offenbarten technischen Lehre schafft einen Detektor zur Detektion elektromagnetischer Strahlung. Der Detektor umfasst ein Halbleitersubstrat, das einen ersten Dotierungstyp aufweist, und eine Wanne in dem Halbleitersubstrat, wobei die Wanne einen zweiten Dotierungstyp aufweist. Der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp sind verschieden, und die Wanne weist in einer Richtung parallel zu einer Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierstoffkonzentration auf. Des Weiteren umfasst der Detektor mindestens zwei Detektoranschlussdotierungsbereiche, die zumindest teilweise in der Wanne in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet sind und den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne aufweisen. Die Detektion der elektromagnetischen Strahlung basiert auf einer Erzeugung von freien Ladungsträgern durch die elektromagnetische Strahlung in einem Detektionsbereich der Wanne, der eine maximale Dotierstoffkonzentration aufweist, die niedriger ist als eine maximale Dotierstoffkonzentration des Anschlussbereichs der Wanne. Der Detektor umfasst auch mindestens zwei von dem Halbleitersubstrat elektrisch isolierte Transfersteuerelektroden zum Steuern eines Transfers von auszuwertenden freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne, wobei die Transfersteuerelektroden in einem Bereich der Wanne zwischen den Detektoranschlussdotierungsbereichen und dem Detektionsbereich angeordnet sind. Der Detektor umfasst ferner eine Sammelsteuerelektrode zum Sammeln von freien Ladungsträgern in dem genannten Bereich der Wanne und um ein konstantes elektrostatisches Potential zu erzeugen, um die generierten Ladungsträger gleichmäßig zwischen den unterschiedlichen Detektoranschlussdotierungsbereichen mittels entsprechenden Transfersteuerelektroden verteilen zu können, wobei die Sammelsteuerelektrode elektrisch isoliert von dem Halbleitersubstrat ist und in einem Bereich der Wanne benachbart zu den Detektoranschlussdotierungsbereichen und dem Detektionsbereich angeordnet ist.

[0014] Ausführungsbeispiele gemäß der hierin offenbarten technischen Lehre basieren auf dem Kerngedanken, dass die für die Detektion der elektromagnetischen Strahlung zu berücksichtigenden Ladungsträger aus einem Sammelbereich in die Detektoranschlussdotierungsbereiche transferiert werden, wohingegen die für die Detektion getrennt zu berücksichtigenden Ladungsträger im Rahmen eines getrennten Auswertungsverfahrens aus dem Sammelbereich in einen anderen Detektoranschlussdotierungsbereich gebracht werden. Dies geschieht dadurch, dass die in dem Sammelbereich des Detektors gesammelten Ladungsträger in dem einen Fall mittels der Transfersteuerelektrode in den Detektoranschlussdotierungsbereich transferiert werden, wenn in dem Sammelbereich überwiegend Ladungsträger vorhanden sind, die für die Detektion und Auswertung der elektromagnetischen Strahlung zu berücksichtigen sind. Im anderen Fall werden die in dem Sammelbereich gesammelten Ladungsträger mittels einer der anderen vorhandenen Transfersteuerelektrode einem anderen entsprechenden Detektoranschlussdotierungsbereich zugeführt, wenn die gesammelten Ladungsträger überwiegend solche Ladungsträger sind, die für die Detektion bzw. Auswertung der elektromagnetischen Strahlung getrennt zu berücksichtigen oder gar nicht zu berücksichtigen bzw. auszuwerten sind. Da die unterschiedlichen Ladungsträgertypen beispielsweise in unterschiedlichen Teilintervallen jeweils eines Integrationszyklus auftreten, lässt sich die Selektion der auszuwertenden Ladungsträger dadurch erreichen, dass Steuersignale für jede Transfersteuerelektrode im Wesentlichen synchronisiert sind mit den zeitlichen Phasen, in denen auszuwertende Ladungsträger bzw. nicht- oder getrennt auszuwertende Ladungsträger in dem Sammelbereich des Detektors überwiegen. Um zu verhindern, dass sich die auszuwertenden Ladungsträger und die nicht- oder getrennt auszuwertenden Ladungsträger bereits übermäßig im Detektionsbereich des Detektors vermischen, wird mittels der ansteigenden Dotierstoffkonzentration in der Wanne dafür Sorge getragen, dass die Ladungsträger in Richtung höherer Dotierstoffkonzentrationen beschleunigt werden. Dadurch kann bereits ohne Anlegen von externen elektrischen Potenzialen eine Bewegung der freien Ladungsträger in eine gewünschte Richtung hervorgerufen werden. Durch den Dotierungsgradienten in der Wanne kann ein Driffeld erzeugt werden, das beispielsweise auch bei Detektoren mit großen Detektionsbereichen Ladungen im gesamten Detektionsbereich beschleunigen kann. Dadurch ist der Ladungsträgertransport nicht nur auf thermische Diffusion beschränkt und kann somit wesentlich schneller erfolgen. Die Ansprechgeschwindigkeit des Detektors kann dadurch deutlich erhöht werden und/oder die Ansprechzeit kann verringert werden. Da infolge eines Laser- oder Entladungsimpulses typischerweise zunächst hauptsächlich unerwünschte bzw. nicht- oder getrennt auszuwertende

Ladungsträger während einer ersten Phase eines Integrationszyklus entstehen, können diese rasch aus dem Detektionsbereich in den Sammelbereich diffundieren und von dort gezielt in einen ersten Detektoranschlussdotierungsbereich gebracht werden. Die kurz darauf in dem Detektionsbereich erzeugten auszuwertenden Ladungsträger können ihrerseits gezielt aus dem Detektionsbereich über den Sammelbereich in einen zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich gebracht werden, und zwar typischerweise während einer zweiten Phase eines jeweiligen Integrationszyklus. Über mehrere Integrationszyklen können nun die auszuwertenden Ladungsträger in einem der Detektoranschlussdotierungsbereiche gesammelt und auf diese Weise zu einer Gesamtladung integriert werden, bis die Gesamtladung ausreichend groß ist, um hinreichend aussagekräftig für die Strahlungsintensität der detektierten elektromagnetischen Strahlung zu sein. Ebenso können eventuell vorhandene, getrennt auszuwertende Ladungsträger in einem anderen Detektoranschlussdotierungsbereich gesammelt werden. Der Detektor kann hinsichtlich des Detektionsbereichs, des Sammelbereichs und/oder Detektoranschlussbereichs so dimensioniert sein, dass bei starker einfallender elektromagnetischer Strahlung bereits wenige Integrationszyklen oder auch ein einziger Integrationszyklus ausreicht, um eine genügend große Ladungsmenge zu sammeln, die ausgewertet werden kann, ohne dass der Detektor übersteuert wird, d. h. in einen Sättigungsbereich übergeht, in dem keine zuverlässige Aussage über die erfasste Strahlungsintensität mehr möglich ist. Bei schwächerer einfallender elektromagnetischer Strahlung kann dagegen so lange über sukzessive Integrationszyklen integriert werden, bis die in einem Detektoranschlussdotierungsbereich gesammelte Gesamtladungsmenge für eine relativ zuverlässige Auswertung groß genug ist.

[0015] Einige Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung beziehen sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines Detektors. Das Verfahren umfasst ein Bereitstellen eines Halbleitersubstrats, das einen ersten Dotierungstyp aufweist und ein Erzeugen einer Wanne in dem Halbleitersubstrat, wobei die Wanne einen zweiten Dotierungstyp aufweist. Der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp sind verschieden, und die Wanne weist in einer Richtung parallel zur Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierstoffkonzentration auf. Des Weiteren umfasst das Verfahren ein Erzeugen von mindestens zwei Detektoranschlussdotierungsbereichen, die zumindest teilweise in der Wanne in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet sind, wobei die Detektoranschlussdotierungsbereiche den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne aufweisen. Die Detektoranschlussdotierungsbereiche weisen eine maximale Dotierstoffkonzentration auf, die niedriger ist als eine maximale Dotierstoffkonzentration des Anschlussbereichs der Wanne. Weiterhin werden zumindest

zwei Transfersteuerelektroden erzeugt, die jeweils von dem Halbleitersubstrat elektrisch isoliert sind. Die Transfersteuerelektroden dienen zum Steuern eines Transfers von auszuwertenden freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne, wobei die Transfersteuerelektrode in einem Bereich der Wanne zwischen dem Detektoranschlussdotierungsbereich und dem Detektionsbereich angeordnet ist. Dabei dient eine andere Transfersteuerelektrode zum Steuern eines Transfers von nicht-auszuwertenden oder getrennt auszuwertenden freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne, wobei diese zweite Transfersteuerelektrode in einem Bereich der Wanne zwischen dem zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich und dem Detektionsbereich angeordnet ist. Weiterhin umfasst das Verfahren das Erzeugen einer Sammelelektrode zum Sammeln von freien Ladungsträgern und zum Erzeugen eines konstanten elektrostatischen Potentials das eine gleichmäßige Verteilung der erzeugten freien Ladungsträger zwischen den unterschiedlichen Detektoranschlussdotierungsbereichen in einem Bereich der Wanne bewirkt, wobei die Sammelelektrode in einem Bereich der Wanne benachbart zu den Detektoranschlussdotierungsbereichen, den Transfersteuerelektroden und dem Detektionsbereich angeordnet ist.

[0016] Einige weitere Ausführungsbeispiele der hierin offenbarten technischen Lehre beziehen sich auf ein Verfahren zur Detektion elektromagnetischer Strahlung. Das Verfahren umfasst ein Erzeugen von freien Ladungsträgern durch die elektromagnetische Strahlung in einem Detektionsbereich einer Wanne, wobei die Wanne in einem Halbleitersubstrat angeordnet ist. Das Halbleitersubstrat weist einen ersten Dotierungstyp auf, und die Wanne weist einen zweiten Dotierungstyp. Der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp sind verschieden. Die Wanne weist in einer Richtung parallel zur Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierstoffkonzentration auf. Weiterhin umfasst das Verfahren zum Detektieren elektromagnetischer Strahlung ein Sammeln der freien Ladungsträger in einem Sammelbereich der Wanne, der zumindest teilweise in der Wanne angeordnet ist, und zwar in einem Anschlussbereich der Wanne. Das Verfahren umfasst auch ein Feststellen, ob die in dem Sammelbereich gesammelten freien Ladungsträger zumindest einer Bedingung für auszuwertende Ladungsträger entsprechen. Das Verfahren umfasst weiterhin eine Auswertung des Ergebnisses des Feststellens. Dementsprechend umfasst das Verfahren eine bedingte Aktion eines Transferierens der gesammelten und auszuwertenden freien Ladungsträger von dem Sammelbereich zu einem der Detektoranschlussdotierungsbereiche, falls die gesammelten freien Ladungsträger der zumindest einen Bedingung entsprechen. Der entsprechende Detektoranschlussdotierungsbereich ist zumindest teilweise in der Wanne in dem Anschlussdotierungsbereich

der Wanne angeordnet und weist den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne auf. Das Verfahren umfasst auch eine zweite bedingte Aktion eines Veranlassens eines anderen Ladungstransfers der gesammelten und nicht-auszuwertenden oder getrennt auszuwertenden freien Ladungsträger von dem Sammelbereich zu einem anderen Detektoranschlussdotierungsbereich, falls die in dem Sammelbereich gesammelten freien Ladungsträger der zumindest einen Bedingung nicht entsprechen bzw. einer zweiten Bedingung entsprechen. Gemäß weiteren Ausführungsbeispielen für ein Verfahren zum Detektieren von elektromagnetischer Strahlung umfasst eine solches Verfahren: Erzeugen von freien Ladungsträgern durch die elektromagnetische Strahlung in einem Detektionsbereich einer Wanne, wobei die Wanne in einem Halbleitersubstrat angeordnet ist, wobei das Halbleitersubstrat einen ersten Dotierungstyp und die Wanne einen zweiten Dotierungstyp aufweisen, wobei der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp verschieden sind, und wobei die Wanne in einer Richtung parallel zur Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierstoffkonzentration aufweist; Sammeln der freien Ladungsträger in einem Sammelbereich der Wanne, der zumindest teilweise in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet ist; und ein Feststellen, ob die in dem Sammelbereich gesammelten freien Ladungsträger zumindest einer Bedingung für auszuwertende Ladungsträger entsprechen. Falls die gesammelten freien Ladungsträger der zumindest einen Bedingung entsprechen, folgt als Aktion ein Transferieren der gesammelten und auszuwertenden Ladungsträger von dem Sammelbereich zu einem Detektoranschlussdotierungsbereich, der zumindest teilweise in der Wanne in dem Anschlussdotierungsbereich der Wanne zugeordnet ist. Falls die gesammelten freien Ladungsträger der zumindest einen Bedingung nicht entsprechen bzw. einer anderen Bedingung entsprechen, qualifizieren sich gesammelten Ladungsträger als getrennt auszuwertende Ladungsträger und es folgt als Aktion ein Transferieren der gesammelten und getrennt auszuwertenden Ladungsträger von dem Sammelbereich zu einem zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich, der zumindest teilweise in der Wanne in dem Anschlussdotierungsbereich angeordnet ist, wobei der zweite Detektoranschlussdotierungsbereich den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne aufweist.

[0017] Die abhängigen Ansprüche betreffen optionale Merkmale der hierin offenbarten technischen Lehre. Das Verfahren zum Herstellen eines Detektors kann weitere optionale Merkmale bzw. Aktionen umfassen, die sich mit der Erzeugung von optionalen Vorrichtungsmerkmalen befassen, die in den abhängigen Vorrichtungsansprüchen oder auch in der nachfolgenden Beschreibung offenbart sind. Das Verfahren zum Detektieren elektromagnetischer Strahlung kann optionale Merkmale umfassen, die

sich auf die optionalen Vorrichtungsmerkmale der abhängigen Vorrichtungsansprüche oder auf entsprechende optionale Merkmale aus der Beschreibung beziehen.

[0018] Gemäß der hierin offenbarten technischen Lehre wird ein Ansatz für Zeilensensoranwendungen verwendet, wonach zumindest eine zusätzliche Transfersteuerelektrode (engl. „transfer gate“, TG) und eine zusätzliche schwebende Diffusion (engl. „floating diffusion“, FD) oder Detektoranschlussdotierungsbereich dafür verantwortlich sind, die „gewünschten“ photogenerierten Ladungsträger zu sammeln bzw. die „unerwünschten“ oder getrennt auszuwertenden photogenerierten Ladungsträger abzuführen. Die zumindest eine zusätzliche Transfersteuerelektrode und die zumindest eine zusätzliche schwebende Diffusion werden zwecks besserer Unterscheidung auch gemäß ihrer Aufgabe als „Abflusssteuerelektrode“ und „Ladungsabflussdotierungsbereich“ bezeichnet. Das Dotierungskonzentrationsprofil innerhalb der erzeugten Wanne kann ausgelegt sein für Längen des Detektionsbereichs, die von mehreren hundert Mikrometern zu mehreren Millimeter reichen, wobei Transferzeiten von lediglich einigen Mikrosekunden erwartet werden können. Im Vergleich würden Pixel auf der Grundlage einer PPD oder eines vergrabenen PG für dieselben Geometrien Transferzeiten von zumindest einigen hundert Mikrosekunden ergeben, was deren Verwendung für diese Art von Aufgaben zumindest stark erschwert oder sogar unmöglich macht.

[0019] Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0020] [Fig. 1A](#) eine schematische Längsschnittansicht und eine schematische Draufsicht eines Detektors gemäß einem Ausführungsbeispiel der hierin offenbarten technischen Lehre;

[0021] [Fig. 1B](#) eine schematische Querschnittansicht des Detektors von [Fig. 1A](#);

[0022] [Fig. 2](#) einen schematischen Schaltplan einer Pixelauslese- und -steuerschaltung gemäß einem Ausführungsbeispiel der offenbarten technischen Lehre;

[0023] [Fig. 3a](#) eine schematische Darstellung eines elektrostatischen Potentialprofils über einen Detektor in einer Richtung senkrecht zu einer Hauptoberfläche des Detektors bei der Sammelsteuerelektrode (CG) oder der Wanne;

[0024] [Fig. 3b](#) eine schematische Darstellung eines elektrostatischen Potentialprofils parallel zu der Substratoberfläche entlang dem Querschnitt a-a' aus [Fig. 3a](#);

[0025] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung eines lateralen Dotierstoffkonzentrationsverlaufs;

[0026] [Fig. 5](#) eine schematische Draufsicht eines Detektors gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der hierin offenbarten technischen Lehre;

[0027] [Fig. 6](#) einige schematisch dargestellte Signalverläufe von einigen Signalen, die in einem Detektor gemäß der hierin offenbarten technischen Lehre auftreten können;

[0028] [Fig. 7](#) einen schematischen Schaltplan einer Pixelauslese- und -steuerschaltung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der offenbarten technischen Lehre;

[0029] [Fig. 8](#) einen schematischen Schaltplan einer Pixelauslese- und -steuerschaltung gemäß noch einem weiteren Ausführungsbeispiel der offenbarten technischen Lehre;

[0030] [Fig. 9](#) einen schematischen Schaltplan eines Details der Pixelauslese- und -steuerschaltung zur Bereitstellung von Steuersignalen für einen Detektor;

[0031] [Fig. 10](#) eine schematische Draufsicht eines Arrays von Zeilendetektoren

[0032] [Fig. 11](#) ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zur Herstellung eines Detektors; und

[0033] [Fig. 12](#) ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zur Detektion elektromagnetischer Strahlung.

[0034] In der vorliegenden Anmeldung werden teilweise für Objekte und Funktionseinheiten, die gleiche oder ähnliche funktionelle Eigenschaften aufweisen, gleiche Bezugszeichen verwendet.

[0035] Es wird ein neuartiger Detektor für elektromagnetische Strahlung vorgeschlagen, der insbesondere für Zeilensensoren geeignet ist, aber auch für andere Arten von Sensoren. Ein Pixel eines solchen Detektors basiert hinsichtlich einiger Merkmale auf dem Lateraldriftfeldphotodetektor (LDPD), der aus dem deutschen Patent Nr. 10 2009 020 218 B1 der selben Erfinder bekannt ist. Der Lateraldriftfeldphotodetektor umfasst eine gepinnte Photodiodenfläche bzw. -bereich (engl. „pinned photodiode area“) und eine nicht-gepinnte Fläche bzw. -bereich. Im Rahmen der hierin gemachten Offenbarung ist der Lateraldriftfeldphotodetektor weiter modifiziert, um z. B. zumindest eine der oben genannten Aufgaben zu erfüllen.

[0036] Der gepinnte Bereich des Detektors umfasst eine Wanne von einem Dotierungstyp, der verschieden ist von dem für das Siliziumsubstrat benutzten, in welchem sie ausgeführt wird. Die Wanne zeigt ein

nicht-uniformes laterales Dotierungsprofil, wie es in der oberen rechten Querschnittsdarstellung in [Fig. 1](#) (Schnitt in der xz-Ebene) dargestellt ist. Der gepinnte Bereich bleibt vollständig verarmt während des Betriebs, wenn er sich sandwichartig zwischen dem Substrat und einer geerdeten, hochdotierten Schicht vom selben Dotierungstyp wie das Substrat befindet, die an der Oberfläche der bereits erwähnten Wanne lokalisiert ist. Dieser Teil der LDPD-Vorrichtung ähnelt der sogenannten gepinnten Photodiode (engl. „pinned photo diode“, PPD) wie sie von Lee u. a. in dem US-Patent Nr. 5,625,210 beschrieben ist, welche einen geringen Dunkelstrom und eine gute Quantenausbeute im blauen Spektralbereich bietet. Sie hat auch andere Vorteile in Bezug auf den Rauschabstand und einen Ladung-zu-Spannung-Konversionsfaktor. Abweichend von der im US-Patent Nr. 5,625,210 beschriebenen Lehre wird gemäß der hierin offenbarten technischen Lehre zusätzlich ein intrinsisch erzeugtes Driftfeld in Richtung des Auslesekontakts und der nicht-gepinnten Region des Detektors induziert aufgrund des hergestellten Dotierungskonzentrationsgradienten in dieser Region. Eine Sammelsteuerelektrode (engl. „collection gate“, CG), eine oder mehrere Transfersteuerelektroden TG und eine oder mehrere schwebende Diffusionen FD, sowie eine Diffusion, die direkt mit einem höheren elektrischen Potenzial verbunden ist und daher Abflussdiffusion (engl. „draining diffusion“) genannt wird, welche in der oberen Schnittdarstellung in [Fig. 1A](#) nicht gesehen werden kann, sind jeweils Teil des nicht-gepinnten Teils des Photodetektors. Ein zweidimensionales Layoutbeispiel des Detektors kann in der Draufsicht in [Fig. 1A](#) gesehen werden. Hierbei bezeichnet L die Länge des Pixels (typischerweise mehrere hundert Mikrometer), L_{CG} die Länge der Sammelsteuerelektrode CG, L_{TG} die Länge der Transfersteuerelektroden und L_{FD} die Länge der schwebenden Diffusionen, bzw. der Abflussdiffusion.

[0037] [Fig. 1A](#) zeigt eine schematische Längsschnittansicht und eine Draufsicht eines Detektors zur Detektion elektromagnetischer Strahlung gemäß der hierin offenbarten technischen Lehre. Der dargestellte Photodetektor kann als Lateraldriftfeldphotodetektor bezeichnet werden, der zum Beispiel für Zeilensensoranwendungen wie Spektroskopie eingesetzt werden kann. Der Photodetektor hat eine hohe Ansprechgeschwindigkeit bzw. geringe Ansprechzeit, geringes Rauschen, geringen Dunkelstrom und die Möglichkeit eines nicht-destruktiven Auslesens.

[0038] [Fig. 1B](#) zeigt einen Querschnitt durch den Photodetektor in der yz-Ebene. Die oben in [Fig. 1A](#) dargestellte Querschnittsansicht stellt einen schematischen Querschnitt in der xz-Ebene dar, d. h. im Grunde einen Längsschnitt des Photodetektors. In der Draufsicht, die unten in [Fig. 1A](#) dargestellt ist, wird mittels der mit X-X' bezeichneten gestrichelten Linie die Lage des Längsschnitts gezeigt, der darüber

in [Fig. 1A](#) dargestellt ist. Ebenso zeigt die Draufsicht mittels der mit 'Y-Y' bezeichneten gestrichelten Linie die Lage des in [Fig. 1B](#) dargestellten Querschnitts.

[0039] Beginnend mit der oben in [Fig. 1A](#) gezeigten Längsschnittdarstellung ist zu erkennen, dass der Detektor ein Substrat **120** umfasst, das seinerseits mehrere Schichten (hier drei Schichten) umfasst. Das Substrat **120** ist p-dotiert, so dass ein erster Dotierungstyp bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel der p-Dotierungstyp ist. Eine unterste der drei Schichten des Substrats **120** wird durch einen Substratblock **122** gebildet, der im vorliegenden Beispiel hochdotiert mit dem ersten Dotierungstyp ist (p^+). Das Substrat **120** umfasst des Weiteren eine epitaxiale Schicht **124**, die mit dem ersten Dotierungstyp schwach dotiert ist (p^- epitaxial). Diese epitaxiale Schicht **124** kann während einer frühen Phase eines Herstellungsprozesses auf den Substratblock **122** aufgebracht worden sein. Als dritte Schicht umfasst das Substrat **120** eine leicht p-dotierte Schicht **126**. Der Detektor umfasst auch eine Wanne **130**, die einen zweiten Dotierungstyp aufweist. Dementsprechend ist die Wanne in dem gezeigten Ausführungsbeispiel n-dotiert. Eine Dotierungskonzentration innerhalb der Wanne **130** steigt entlang der Längsrichtung (d. h. parallel zur x-Achse) an, wie durch einen Pfeil **131** angedeutet. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, kann im Zusammenhang mit der ansteigenden Dotierungskonzentration auch die Tiefe der Wanne **130** in z-Richtung ansteigen, was beispielsweise durch die Eigenschaften des gewählten Dotierungsprozesses bedingt sein kann. Bei anderen Dotierungsprozessen kann ggf. erreicht werden, dass die Tiefe der Wanne **130** im Wesentlichen konstant über die gesamte Länge $L + L_{CG} + L_{TG}$ bleibt. Zumindest ein Teil einer vom Substrat **120** abgewandten Oberfläche der Wanne **130** ist von einer stark p^+ -dotierten Schicht **132** bedeckt. Diese p^+ -dotierte Schicht **132** steht an ihrem linken Ende mit der schwächer p-dotierten Substratschicht **126** in Verbindung. Ferner weist die p^+ -dotierte Schicht **132** einen Bulk-Kontakt auf, über den die p^+ -Schicht **132** und auch das Substrat **120** auf ein bestimmtes elektrisches Potenzial gebracht werden kann. In dem Bereich, in dem die p^+ -Schicht **132** vorgesehen ist, hat der Photodetektor die Struktur einer gepinnten Photodiode. Die p^+ -dotierte Schicht **132** ist typischerweise durchlässig für die zu detektierende elektromagnetische Strahlung, so dass sich ein Detektionsbereich des Detektors im Wesentlichen in dem unterhalb der p^+ -dotierten Schicht **132** befindlichen Bereich der Wanne **130** erstreckt.

[0040] Die zu detektierende elektromagnetische Strahlung ist in [Fig. 1A](#) durch gebogene Pfeile dargestellt. Durch eine metallische Abschirmung **112** wird erreicht, dass die elektromagnetische Strahlung im Wesentlichen nur innerhalb des Detektionsbereichs auf die Detektoroberfläche trifft. Die Metallabschirmung **112** ist hier in einem Abstand von dem

eigentlichen Detektor dargestellt. Alternativ kann die Metallabschirmung **112** aber auch direkt auf eine Oberfläche des eigentlichen Detektors aufgebracht werden. Die Metallabschirmung **112** verhindert, dass photogenerierte Ladungsträger in anderen Bereichen des Photodetektors als dem Detektionsbereich erzeugt werden, was zu einer Verfälschung des Detektionsergebnisses führen könnte, vor allem wenn es sich um Bereiche des Detektors handelt, die dem Detektionsbereich nachgeschaltet sind und zum Zwischenspeichern von generierten Ladungsträgern dienen.

[0041] Ebenfalls an der dem Substrat **120** abgewandten Oberfläche der Wanne **130** angeordnet ist eine Elektrodenanordnung. Diese Elektrodenanordnung ist an einem Ende der Wanne **130** angeordnet, die in Längsrichtung dort liegt, wo die Dotierstoffkonzentration hoch ist im Vergleich zum übrigen Bereich der Wanne **130**. Die Elektrodenanordnung umfasst eine Sammelsteuerelektrode **136**, die im gezeigten Ausführungsbeispiel aus einem Polysilizium besteht, das während der Herstellung während einer ersten Phase zur Abscheidung von Polysilizium auf die Oberfläche der Wanne **130** aufgebracht wurde. Die Elektrodenanordnung umfasst auch eine Transfersteuerelektrode **144**, die in dem dargestellten Ausführungsbeispiel ebenfalls aus einem Polysilizium besteht. Das Polysilizium der Transfersteuerelektrode **144** wurde jedoch während einer zweiten Abscheidungsphase für Polysilizium aufgebracht, da zwischen der Sammelsteuerelektrode **136** und der Transfersteuerelektrode **144** eine Isolierschicht **134** vorgesehen ist, die zwischen der ersten Polysiliziumschicht für die Sammelsteuerelektrode **136** und der zweiten Polysiliziumschicht für die Transfersteuerelektrode **144** aufgebracht wird. Wie in [Fig. 1](#) zu sehen, überlappt die Transfersteuerelektrode **144** zum Teil mit der Sammelsteuerelektrode **136** in x-Richtung. Auf diese Weise wirkt sich ein von der Transfersteuerelektrode **144** erzeugtes elektrisches Feld auch auf den Bereich unterhalb der Sammelsteuerelektrode **136** aus, wodurch sich ein Transfer von gesammelten Ladungsträgern in dem Bereich unterhalb der Sammelsteuerelektrode **136** zu einem benachbarten und mittels entsprechender Ansteuerung der Transfersteuerelektrode **144** erreichbaren Bereich des Detektors schneller bewerkstelligen lässt. Die Transfersteuerelektrode **144** kann mehrfach vorhanden sein, wobei mehrere Transfersteuerelektroden **144** beispielsweise in y-Richtung aufgereiht sein könnten. An dem Ende der Wanne **130**, zu dem die Dotierstoffkonzentration **131** hin ansteigt, umfasst der Detektor eine schwebende Diffusion **142**, die stark n-dotiert (n^+) ist. Solange an der Transfersteuerelektrode **144** kein elektrisches Potenzial anliegt, das sich wesentlich von einem elektrischen Potenzial der Wanne **130** unterscheidet, driften die freien Ladungsträger in Richtung der ansteigenden Dotierstoffkonzentration bis zu der schwebenden Diffusion

142, da die schwebende Diffusion **142** eine maximale Dotierstoffkonzentration aufweist, die höher ist als eine maximale Dotierstoffkonzentration in dem Detektionsbereich der Wanne **130**. Durch Anlegen eines geeigneten elektrischen Potentials an die Transfersteuerelektrode **144**, das sich von dem elektrischen Potential der Wanne **130** unterscheidet, lässt sich der Transfer der freien Ladungsträger aus dem Detektionsbereich in die schwebende Diffusion **142** gezielt zeitweilig unterbinden.

[0042] Sowohl die Sammelsteuerelektrode **136** als auch die Transfersteuerelektrode **144** sind gegenüber der Wanne **130** elektrisch isoliert. Die Sammelsteuerelektrode **136** kann mittels eines Kontakts CG („collection gate“) mit einem Sammelsteuerelektrodensignal angesteuert werden. Ein Transfersteuerelektrodensignal kann der n-ten Transfersteuerelektrode **144** (sofern mehrere Transfersteuerelektroden vorhanden sind) über einen Kontakt TG_n („transfer gate n“) zugeführt werden. Durch ein Signalmuster für die Sammelsteuerelektrode **136** und die Transfersteuerelektrode **144** kann erreicht werden, dass die unterhalb der Sammelsteuerelektrode **136** gesammelten freien Ladungsträger durch Öffnen der Transfersteuerelektrode **144** der schwebenden Diffusion bzw. dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** zugeführt werden. Die Zuführung von Ladungsträgern zu dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** spiegelt sich in einer Änderung des elektrischen Potentials des Detektoranschlussdotierungsbereichs **142** wider. Das jeweils vorherrschende elektrische Potential in dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** kann über einen Kontakt FD_n („floating diffusion n“) ausgelesen werden, wobei typischerweise eine Ausleseschaltung mit einem hohen Eingangswiderstand verwendet wird.

[0043] In der Längsschnittansicht des Detektors, die in [Fig. 1A](#) oben gezeigt ist, ist zu sehen, dass sich rechts an dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** eine Feldoxid (FOX)-Anordnung **114** befindet. Die Feldoxidanordnung **114** ist an einer Stelle für einen p⁺-dotierten Bereich unterbrochen, der mit einem weiteren Bulk-Kontakt in Verbindung steht. Über den Bulk-Kontakt kann das Substrat **120** in dem Bereich, der um den Detektoranschlussdotierungsbereich **142** liegt, auf ein bestimmtes elektrisches Potential gebracht werden. Beispielsweise können der linke Bulk-Kontakt und der rechte Bulk-Kontakt, die in der Längsschnittansicht des Detektors in [Fig. 1A](#) zu sehen sind, im Wesentlichen auf demselben elektrischen Potential liegen. Da der Detektionsbereich des Detektors relativ lang sein kann (z. B. von hundert Mikrometern bis einigen Millimetern), wird durch die beiden dargestellten Bulk-Kontakte und eventuell weitere Bulk-Kontakte das Substrat **120** trotz der großen Ausdehnung in Längsrichtung im Wesentlichen auf ein einheitliches elektrisches Potential gebracht.

[0044] In der Draufsicht des Detektors unten in [Fig. 1A](#) ist neben der ersten Transfersteuerelektrode **144** eine zweite Transfersteuerelektrode **154** dargestellt, die als Abflusssteuerelektrode dient. Die zweite Transfersteuerelektrode **154** kann im Wesentlichen in analoger Weise wie die erste Transfersteuerelektrode **144** aufgebaut sein. Der Bereich der Wanne **130**, der sich unterhalb der Sammelsteuerelektrode **136** befindet, kann durch entsprechende Ansteuerung der zweiten Transfersteuerelektrode **154** mit einem zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich **152** für einen Transfer der gesammelten freien Ladungsträger im elektrischen Sinne verbunden und für ein Unterbinden des Transfers im elektrischen Sinne von diesem getrennt werden. Der erste Detektoranschlussdotierungsbereich **142** und der zweite Detektoranschlussdotierungsbereich **152** sind in dem dargestellten Ausführungsbeispiel n⁺-dotiert. Zwischen dem ersten Detektoranschlussdotierungsbereich **142** und dem zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich **152** kann sich beispielsweise die p-dotierte Substratschicht **126** bis an die Oberfläche erstrecken, um den ersten Detektoranschlussdotierungsbereich **142** und den zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich **152** voneinander elektrisch zu isolieren. Auch andere Maßnahmen zur elektrischen Isolation des ersten Detektoranschlussdotierungsbereichs **142** und des zweiten Detektoranschlussdotierungsbereichs **152** sind denkbar, wie zum Beispiel eine Erstreckung des Feldoxids **114** zwischen die zwei genannten Bereiche.

[0045] Im Bereich des Detektionsbereichs zeigt die Draufsicht die Isolierschicht **134**. Von der p⁺-dotierten Schicht, über die der Detektionsbereich an einer Seite gepinnt ist, ist an drei Seiten der Rand zu sehen, der über die Isolationschicht **134** hinausragt. Die Isolationschicht **134** setzt sich unter der Sammelsteuerelektrode **136**, der Transfersteuerelektrode **144** und der Abflusssteuerelektrode **154** fort, um dann noch jeweils einen Teil des ersten Detektoranschlussdotierungsbereichs **142** bzw. zweiten Detektoranschlussdotierungsbereichs **152** abzudecken (siehe hierzu insbesondere die Längsschnittansicht in [Fig. 1](#)).

[0046] Der Detektionsbereich hat eine Ausdehnung L in Längsrichtung, die Sammelsteuerelektrode **136** hat eine Ausdehnung L_{CD} in Längsrichtung, die erste Transfersteuerelektrode **144** und die zweite Transfersteuerelektrode **154** haben jeweils eine Ausdehnung L_{TG} in Längsrichtung. Auch der erste Detektoranschlussdotierungsbereich **142** und der zweite Detektoranschlussdotierungsbereich **152** haben in dem dargestellten Ausführungsbeispiel ebenfalls eine identische Ausdehnung in Längsrichtung L_{FD}.

[0047] Der zweite Detektoranschlussdotierungsbereich bzw. Ladungsabflussdotierungsbereich **152** ist während des Betriebs typischerweise dauerhaft mit

einem höheren elektrischen Potenzial verbunden, so dass dem zweiten Detektoranschlußdotierungsbereich **152** zugeführte freie Ladungsträger direkt in Richtung des höheren elektrischen Potenzials abfließen. Da die freien Ladungsträger von dem höheren elektrischen Potenzial angezogen werden, geht der Abflusstransfer relativ schnell. Auf diese Weise kann der sich unter der Sammelsteuerelektrode **136** befindliche Sammelbereich schnell von unerwünschten bzw. nicht für die Detektion vorgesehenen bzw. getrennt auszuwertenden freien Ladungsträgern befreit werden, um für die zeitlich danach eintreffenden erwünschten bzw. für die Detektion vorgesehenen Ladungsträger bereit zu sein. Die Entscheidung aber, ob ein erzeugter freier Ladungsträger für die Auswertung der Detektion zu berücksichtigen ist oder nicht, hängt von zumindest einem Kriterium ab, das Benutzer-vorgegeben sein kann. Somit richtet sich die Unterscheidung nach benutzerdefinierten Kriterien, wie z. B. nach unterschiedlichen Zeitintervallen, in denen vorwiegend jeweils für die Detektion zu berücksichtigende bzw. nicht zu berücksichtigende Ladungsträger entstehen oder im Sammelbereich ankommen. Eine eventuell vorhandene Elektrodensteuerung des Detektors kann ausgelegt sein, die Transfersteuerelektroden **144**, **154** derart zu steuern, dass der Transfer der auszuwertenden freien Ladungsträger, die während einer ersten Phase in dem Detektionsbereich entstehen, zu einem ersten Detektoranschlußdotierungsbereich **142** der zwei oder mehr Detektoranschlußdotierungsbereiche erfolgt, und der Transfer der auszuwertenden freien Ladungsträger, die während einer zweiten Phase in dem Detektionsbereich entstehen, zu einem zweiten Detektoranschlußdotierungsbereich **152** der zwei oder mehr Detektoranschlußdotierungsbereiche zu unterschiedlichen Zeiten erfolgt.

[0048] **Fig. 1B** zeigt einen Querschnitt durch den Detektor. Zu sehen sind zwei nebeneinander angeordnete Wannen **130**, die jeweils die Breite L_{NWELL} haben. Beide Wannen **130** können in einen gemeinsamen Sammelbereich unterhalb der Sammelsteuerelektrode **136** münden.

[0049] **Fig. 2** zeigt die innerhalb eines Pixels vorhandenen Ausleseschaltkreise („in-pixel readout circuits“), wobei der Detektoranschlußdotierungsbereich **142**, bzw. sofern mehrfach vorhanden jeder der Detektoranschlußdotierungsbereiche **142**, mit der Quellenelektrode (source) eines Rücksetztransistors verbunden ist, von dem das Signal durch einen in den Pixel integrierten Puffer ausgelesen werden kann, der als Quellenfolgerkonfiguration („source follower“, SF) aufgebaut ist und Teil des Pixels bildet. Der Ladungsabflusssdotierungsbereich **152** ist dagegen direkt mit einem höheren elektrischen Potenzial verbunden, das hier als V_{DD} dargestellt ist. Der Rücksetztransistor **210** ist mittels seiner Senkenelektrode

(drain) mit einem elektrischen Potenzial verbunden, das in **Fig. 2** mit V_{pix} bezeichnet ist. Die Steuerelektrode des Puffertransistors **220** ist mit dem Quellenanschluss des Rücksetztransistors **210** verbunden. Solange der Rücksetztransistor **210** gesperrt ist, liegt somit an der Steuerelektrode des Puffertransistors **220** ein elektrisches Potenzial an, das eine Funktion der in dem Detektoranschlußdotierungsbereich **142** gespeicherten Gesamtladung ist. Aufgrund der Verstärkungswirkung des Puffertransistors **220** ändert sich das an dem Quellenausgang des Puffertransistors **220** anliegende elektrische Potenzial in Abhängigkeit von dem an dessen Steuerelektrode anliegenden elektrischen Potenzial.

[0050] Die Ausleseschaltung umfasst weiterhin einen Zeilenauswahltransistor **230**, der von einem Zeilenauswahlsignal („row_select“) gesteuert wird und an dessen Ausgang bei Durchschaltung des Zeilenauswahltransistors **230** das Pixelausgangssignal („pixel-out“) anliegt. Auf diese Weise kann das Pixelausgangssignal für jedes Pixel nach entsprechender Auswahl durch das Zeilenauswahlsignal aus dem Detektor ausgelesen werden.

[0051] Die Tatsache, dass die Sammelelektrode oben auf derselben Wanne hergestellt wird, ähnelt einer verborgenen Photosteuerlektrode (engl. „buried photo gate“), bei der das elektrostatische Potenzialmaximum, wenn ein senkrechter Schnitt durch die Sammelsteuerelektrode gemacht wird, in einer Entfernung von der Siliziumoberfläche befindlich ist, wie es in **Fig. 3** zu sehen ist. **Fig. 3a** zeigt eine schematische Darstellung **300** eines elektrostatischen Potenzialprofils **310** senkrecht zu der Oberfläche des Substrats. Der Potenzialverlauf **310** zeigt ein Maximum mit deutlichem Abstand zur Substratoberfläche (oder zur Siliziumoberfläche, wenn ein Siliziumwafer als Substrat verwendet wird).

[0052] Folglich kann sich die Ladungsträgeranzahl, die von den schnellen Oberflächenzuständen stammen und mit den bereits gesammelten Signalladungsträgern gemischt werden, reduziert werden. Zusätzlich zeigt **Fig. 3b** eine schematische Darstellung **350** eines elektrostatischen Potenzialprofils **360** parallel zu der Substratoberfläche entlang dem Querschnitt a-a' aus **Fig. 3a**. Das elektrostatische Potenzial steigt von einem Ende der Wanne **130** bis zu einem Maximum im Bereich der schwebenden Diffusionen bzw. des ersten Detektoranschlußdotierungsbereich **142** und des zweiten Detektoranschlußdotierungsbereich **152** an.

[0053] Schließlich kann mittels der Transfersteuerelektrode **144** ein Mechanismus bereitgestellt werden, welcher eine Potenzialbarriere innerhalb der Wanne **130** erzeugen kann, welche verhindern kann, dass die gesammelte Ladung während des Ladungsammelzyklus in den benachbarten Detektoran-

schlussdotierungsbereich **142** transferiert wird, oder es kann das Driffeld vergrößern, welches die gesammelten Ladungsträger während des Auslesezyklus und des Rücksetzzyklus in den Detektoranschlussdotierungsbereich **142** driften lässt. Der Detektoranschlussdotierungsbereich **142** kann beispielsweise als Photodetektorausleseknoten und/oder Photodetektorrücksetzknoten verwendet werden.

[0054] [Fig. 4](#) zeigt eine schematische Darstellung eines lateralen Dotierstoffkonzentrationsverlaufs. Dabei zeigt die Abszisse die laterale Ausdehnung parallel zu der Oberfläche des Halbleitersubstrats **120** und die Ordinate die Dotierstoffkonzentration der Wanne **130**. Die Figur zeigt drei Beispiele für einen Dotierstoffkonzentrationsverlauf **160** in der Wanne. Die Dotierstoffkonzentration kann z. B. monoton steigend, stufenförmig steigend, linear steigend sein oder eine andere ansteigende Form aufweisen. Die Dotierstoffkonzentration kann beispielsweise an einem Ende der Wanne **120** am niedrigsten sein und am anderen Ende der Wanne **130**, an dem zum Beispiel auch der Anschlussbereich liegen kann, am höchsten sein. Alternativ kann der Anschlussbereich beispielsweise in der Mitte der Wanne **130** liegen und die Dotierstoffkonzentration von den Rändern der Wanne **130** zum Anschlussbereich in der Mitte der Wanne **130** hin ansteigen.

[0055] Der Detektoranschlussdotierungsbereich **142**, der beispielsweise teilweise innerhalb der Wanne liegt, kann beispielsweise eine höhere Dotierstoffkonzentration aufweisen als eine maximale Dotierstoffkonzentration der Wanne **130**, um einen niederohmigen Anschluss an eine Verdrahtungsebene zu ermöglichen und gleichzeitig das größte elektrostatische Potential zum Sammeln der freien Ladungsträger zu bieten. Des Weiteren kann die Wanne **130** im Anschlussbereich die maximale Dotierstoffkonzentration der Wanne aufweisen.

[0056] [Fig. 5](#) zeigt eine schematische Draufsicht eines Detektors gemäß einem weiteren möglichen Ausführungsbeispiel, bei dem der erste Detektoranschlussdotierungsbereich **142** und der zweite Detektoranschlussdotierungsbereich **152** gegenüberliegend bezüglich des Sammelbereichs angeordnet sind. Somit schließen sich die erste Transfersteuerelektrode **144** und der erste Detektoranschlussdotierungsbereich **142** an einer ersten Seite des Sammelbereichs an diesen an. An einer zweiten Seite, die der ersten Seite gegenüberliegt, schließen sich die zweite Transfersteuerelektrode **154** und der zweite Detektoranschlussdotierungsbereich **152** an den Sammelbereich an. Wie bei dem in den [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) dargestellten Ausführungsbeispiel können die erste Transfersteuerelektrode **144** und die zweite Transfersteuerelektrode **154** auch bei dem Ausführungsbeispiel nach [Fig. 5](#) den Sammelbereich teilweise überlappen. Der Sammelbereich ist auch bei diesem Aus-

führungsbeispiel benachbart zu dem ersten Detektoranschlussdotierungsbereich **142**, dem zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich **152** und dem Detektionsbereich angeordnet, da sowohl der erste Detektoranschlussdotierungsbereich **142** als auch der zweite Detektoranschlussdotierungsbereich **152** zumindest teilweise im Anschlussbereich der Wanne **130** angeordnet ist und daher mit der Wanne in Kontakt stehen. Die Steuerelektroden **144** und **154** erstrecken sich typischerweise oberhalb der Bereiche, in denen der erste bzw. zweite Detektoranschlussdotierungsbereich **142** bzw. **152** mit dem Sammelbereich in Kontakt stehen. Neben der dargestellten Anordnung sind auch weitere Anordnungen von Sammelbereich, Detektionsbereich, erstem und zweitem Detektoranschlussdotierungsbereich bzw. Ladungsabflussdotierungsbereich denkbar, wie zum Beispiel eine Dreieckanordnung.

[0057] [Fig. 6](#) zeigt auf schematische Weise eine Reihe von zeitlichen Signalverläufen zur Veranschaulichung der Funktion eines Detektors gemäß der offenbarten technischen Lehre. Für die Zwecke der Darstellung und Erläuterung wird beispielhaft der Anwendungsfall einer Funkenemissionsspektrometrie herangezogen. Der oberste in [Fig. 6](#) dargestellte Signalverlauf zeigt einen Funkenentladungsverlauf **62**. In regelmäßigen Abständen werden Funkentladungen durchgeführt. Typische Funkenfolgefrequenzen liegen in einem Bereich bis 1000 Hz. Die einzelnen Funkenentladungen sind schematisch als Rechtecksignale dargestellt, können jedoch auch andere Verläufe haben. Ein Intensitäts-Signalverlauf **64** gibt die Intensität der durch die Funkentladungen erzeugten elektromagnetischen Strahlung wieder. Die elektromagnetische Strahlung kann sich im Spektrum zum Beispiel im Bereich des sichtbaren Lichts sowie der angrenzenden Bereiche (infrarotes und ultraviolettes Licht) befinden. Die Art des zu untersuchenden Materials und der Anregung durch die Funkenentladung wirkt sich auf die erzeugte elektromagnetische Strahlung aus, was schematisch durch den Lichtintensitäts-Signalverlauf **64** gezeigt ist. Insbesondere kann es vorkommen, dass die Strahlungsintensität während der Funkenentladung zunächst relativ hoch ist und nach Beendigung der Funkenentladung abklingt. Weiterhin ist es möglich, dass während bestimmter Phasen der Funkenentladung elektromagnetische Strahlung entsteht, die für die Zwecke der Spektrometrie ungeeignet oder getrennt auszuwerten sind.

[0058] [Fig. 6](#) zeigt auch einen schematischen Transfersteuersignalverlauf **66** eines Transfersteuersignals, das zur Ansteuerung der Transfersteuerelektrode **144** vorgesehen ist, und einen schematischen Ladungsabflusssteuersignalverlauf **67** eines Ladungsabflusssteuersignals, das zur Ansteuerung der Abflusssteuerelektrode **154** (d. h. der zweiten Transfersteuerelektrode) vorgesehen ist. Wenn das Transfersignal den Wert „1“ oder „high“ hat,

bewirkt die Transfersteuerelektrode, dass zwischen dem Sammelbereich und dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** ein leitender Kanal entsteht, so dass freie Ladungsträger von dem Sammelbereich in den Detektoranschlussdotierungsbereich **142** driften können. Dieses Driften der freien Ladungsträger wird von dem Dotierstoffkonzentrationsgradienten unterstützt. Wenn das Transfersignal dagegen den Wert „0“ oder „low“ hat, dann erzeugt die Transfersteuerelektrode **144** eine Barriere zwischen dem Sammelbereich und dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142**. Dies hat zur Folge, dass freie Ladungsträger nicht mehr aus dem Sammelbereich in den Detektoranschlussdotierungsbereich **142** driften oder diffundieren können. Wie in [Fig. 6](#) zu sehen, weist der Transfersteuersignalverlauf **66** Abschnitte mit dem Wert „1“ auf, in denen der Transfer der freien Ladungsträger in den Detektoranschlussdotierungsbereich **142** möglich ist. Diese Abschnitte treten einmal pro Funkenentladungszyklus auf und zwar jeweils dann, nachdem die Strahlungsintensität **64** bereits von einem Maximalwert abgeklungen ist, der typischerweise während der Anfangsphase eines Funkenentladungszyklus auftritt. Auf diese Weise werden z. B. die während einer Anfangsphase des Funkenentladungszyklus entstehenden freien Ladungsträger nicht in den Detektoranschlussdotierungsbereich transferiert und somit auch nicht für die Spektrometrie herangezogen. Erst die später während des jeweiligen Funkenentladungszyklus entstehenden freien Ladungsträger werden in den Detektoranschlussdotierungsbereich transferiert und dementsprechend ausgewertet.

[0059] Der Ladungsabflussteuersignalverlauf **67** ist in [Fig. 6](#) im Wesentlichen komplementär zu dem Transfersteuersignalverlauf **66** dargestellt. Somit weist der Ladungsabflussteuersignalverlauf **67** in der Anfangsphase jeweils eines Funkenentladungszyklus einen Abschnitt mit dem Wert „1“ auf, in welchem die Abflussteuerelektrode den Sammelbereich mit dem Ladungsabflusstuerbereich verbindet. Auf diese Weise können die während dieser Phase in dem Sammelbereich befindlichen freien Ladungsträger in den Ladungsabflusstuerbereich abfließen und werden nicht für die Messung der Strahlungsintensität verwendet. Der Transfersteuersignalverlauf **66** und der Ladungsabflussteuersignalverlauf **67** können gleichzeitig den Wert „0“ annehmen, wodurch der Sammelbereich weder mit dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** noch mit dem Ladungsabflusstuerbereich **152** im Sinne eines Transfers bzw. Abflusstuerbereichs der freien Ladungsträger verbunden ist. Ferner ist es möglich, dass das Transfersteuersignal und/oder das Ladungsabflussteuersignal eine Phasenverschiebung gegenüber dem Funkenentladungsverlauf **62** aufweist. Mit der Phasenverschiebung kann z. B. eine Verzögerung zwischen der Funkenentladung und dem Zeitpunkt, zu dem die freien Ladungsträger den

Sammelbereich erreichen, ausgeglichen werden. Ein möglichst optimaler Wert der Phasenverschiebung kann durch Berechnung, Simulation oder Experimente bestimmt werden.

[0060] Ein weiterer in [Fig. 6](#) gezeigter Signalverlauf stellt schematisch eine im Detektoranschlussbereich **142** kumulierte Gesamtladung **68** dar. Die kumulierte Gesamtladung steigt während der Teilphasen eines Funkenentladungszyklus an, in denen der Sammelbereich infolge entsprechender Ansteuerung der Transfersteuerelektrode **144** mit dem Detektoranschlussbereich **142** verbunden ist. In den anderen Teilphasen, in denen der Sammelbereich mit dem Ladungsabflusstuerbereich **152** verbunden ist, bleibt die Gesamtladung im Detektoranschlussdotierungsbereich im Wesentlichen konstant. Das Integrieren der Ladung in dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** kann über mehrere Funkenentladungszyklen erfolgen, bis ein Schwellenwert erreicht ist, der angibt, dass die kumulierte Gesamtladungsmenge für eine aussagekräftige Messung ausreicht.

[0061] Ein Rücksetzsignal **69** ist ebenfalls in [Fig. 6](#) dargestellt. Das Rücksetzsignal steuert den Rücksetztransistor **210** (siehe [Fig. 2](#)). Wird der Rücksetztransistor **210** leitend, so fließen die in dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** gespeicherten Ladungen beispielsweise zu dem in [Fig. 2](#) dargestellten Potential V_{dd} ab. In [Fig. 6](#) ist zu sehen, dass die kumulierte Gesamtladung **68** in dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** abnimmt, wenn das Rücksetzsignal **69** den Wert „1“ annimmt. Das Rücksetzen des Detektoranschlussdotierungsbereichs **142** folgt im Wesentlichen der Entladungskurve eines Kondensators.

[0062] [Fig. 7](#) zeigt einen schematischen Schaltplan einer Pixelauslese- und -steuerschaltung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der offenbarten technischen Lehre. Im unteren Teil von [Fig. 7](#) sind schematisch die Wanne **130**, die Sammelsteuerelektrode **136**, die Transfersteuerelektrode **144**, der Detektoranschlussdotierungsbereich **142**, die Abflussteuerelektrode **154** und der Ladungsabflusstuerbereich **152** abgebildet. Zur Erzeugung von Steuersignalen für die Transfersteuerelektrode **144** und die Abflussteuerelektrode **154** umfasst die Pixelauslese- und -steuerschaltung eine Logikschaltung **72**, die zum Beispiel in CMOS-Technologie ausgeführt sein kann. Die Logikschaltung **72** erzeugt auch das Rücksetzsignal für den Rücksetztransistor **210**. Als Eingänge weist die Logikschaltung **72** einen Taktsignaleingang, einen Auslösesignaleingang zum Empfangen eines Messauslösungssignals und einen Vergleichsignaleingang auf. Ein an dem Vergleichsignaleingang anliegendes Vergleichssignal wird von einer analogen Vergleichsschaltung gebildet, welche einen Vergleichsverstärker in Form eines Operationsverstärkers **74** umfasst. Andere Möglichkeiten

zur Implementierung eines Vergleichers sind ebenfalls möglich. Der Vergleich **74** empfängt an seinem invertierenden Eingang ein Spannungssignal, das durch den Detektoranschlußdotierungsbereich **142** erzeugt wird. Das Spannungssignal entspricht der in dem Detektoranschlußdotierungsbereich **142** kumulierten Gesamtladung. Eine Referenz- oder Vergleichsspannung V_{c1} stellt ein zweites Eingangssignal für den Vergleich **74** dar, das an dessen nicht-invertierenden Eingang anliegt. Je nachdem, in welcher Relation das von dem Detektoranschlußdotierungsbereich **142** gelieferte Spannungssignal und die Referenz- bzw. Vergleichsspannung V_{c1} zueinander stehen, d. h. welche der beiden Spannungen größer ist, ergibt sich am Ausgang des Vergleichers **74** ein entsprechender Wert, welcher der Logikschaltung **72** zur Verfügung gestellt wird. Auf diese Weise erhält die Logikschaltung **72** eine Information darüber, wann die im Detektoranschlußdotierungsbereich **142** kumulierte Gesamtladung einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. Diese Information kann von der Logikschaltung **72** ausgewertet werden, um zum Beispiel einen Übergang von einem ersten Betriebszustand zu einem zweiten Betriebszustand vorzunehmen. Der erste Betriebszustand kann dabei einer (wiederholten) Akkumulierung von Ladung im Detektoranschlußdotierungsbereich **142** über einen oder mehrere Entladungszyklen entsprechen. Im zweiten Betriebszustand wird die bis zum Zeitpunkt des Umschaltens vom ersten zum zweiten Betriebszustand kumulierte Gesamtladung weitgehend konstant gehalten, bis sie ausgelesen wird. Die wiederholte Akkumulierung kann durch wiederholtes Öffnen der Transfersteuerelektrode **144** erfolgen, was von der Logikschaltung **72** gesteuert werden kann. Während des zweiten Betriebszustands wird die Transfersteuerelektrode **144** dauerhaft geschlossen gehalten, so dass keine weiteren Ladungen von dem Sammelbereich in den Detektoranschlußdotierungsbereich fließen können. Wenn ein Messzyklus, der eine Vielzahl von Entladungszyklen umfassen kann, beendet ist, kann die an dem Detektoranschlußdotierungsbereich **142** anliegende Spannung als Pixelausgangssignal ausgegeben werden. Der Quellenfolgertransistor **220** dient dabei der Verstärkung und/oder Pufferung des Pixelausgangssignals. Man beachte, dass der invertierende Eingang des Vergleichers **74** auch direkt mit dem Detektoranschlußdotierungsbereich **142** verbunden sein könnte, insbesondere dann, wenn der Vergleich **74** einen hohen Eingangswiderstand aufweist, der den Detektoranschlußdotierungsbereich **142** nur geringfügig belastet.

[0063] Über das Auslösesignal wird der Beginn eines neuen Messzyklus gesteuert. Während eines Messzyklus werden typischerweise eine Vielzahl von Entladungszyklen oder Laserimpulszyklen durchgeführt, welche beispielsweise von dem Taktsignal abhängen können, d. h. bei jedem Impuls des Takt-

signals erfolgt ein Entladungszyklus. Andere Verhältnisse zwischen Taktsignal und Entladungszyklus sind ebenfalls möglich. Zu Beginn eines neuen Messzyklus ist der Detektoranschlußdotierungsbereich **142** entladen, wobei die Entladung entweder zum Ende des vorhergehenden Messzyklus oder zu Beginn des aktuellen Messzyklus erfolgt sein kann. Die Entladung des Detektoranschlußdotierungsbereichs **142** erfolgt über den Rücksetztransistor **210** und eine entsprechende Ansteuerung durch die Logikschaltung **72**. Die Pixelsteuerschaltung befindet sich daraufhin zunächst im ersten Betriebszustand und trennt während eines jeden Entladungszyklus die auszuwertenden Ladungsträger von den nicht auszuwertenden bzw. getrennt auszuwertenden Ladungsträgern. Die auszuwertenden Ladungsträger werden im Detektoranschlußdotierungsbereich gesammelt, während die nicht auszuwertenden bzw. getrennt auszuwertenden Ladungsträger dem Ladungsabflusssdotierungsbereich zugeführt werden, von wo sie typischerweise zu einem elektrischen Potential (hier V_{dd}) geleitet werden. Zu diesem Zweck wird während eines jeden Taktzyklus zunächst die Abflussteuerelektrode **154** geöffnet, sodass die nicht bzw. getrennt auszuwertenden Ladungsträger aus dem Sammelbereich in den Ladungsabflusssdotierungsbereich **152** fließen können. Dann wird die zweite Transfersteuerelektrode bzw. Abflussteuerelektrode **154** geschlossen und die Transfersteuerelektrode **144** geöffnet, um die auszuwertenden Ladungsträger in den Detektoranschlußdotierungsbereich **142** zu transferieren. Diese Vorgehensweise wird typischerweise über mehrere Entladungszyklen fortgesetzt, bis eine zuvor festgelegte Anzahl von Entladungszyklen durchgeführt wurde oder bis in dem Detektoranschlußdotierungsbereich eine Ladungsmenge akkumuliert wurde, die einen Schwellenwert überschreitet. Es kann aber auch der Fall eintreten, dass nur ein Entladungszyklus während eines Messzyklus vorgenommen wird. Über den Quellenfolgertransistor **220** kann eine elektrische Spannung am Detektoranschlußdotierungsbereich **142** als Pixelausgangssignal ausgelesen werden, die der akkumulierten Ladung entspricht.

[0064] **Fig. 8** zeigt einen schematischen Schaltplan einer Pixelauslese- und -steuerschaltung eines anderen Ausführungsbeispiels, die im Wesentlichen der in **Fig. 7** gezeigten Pixelauslese- und -steuerschaltung entspricht. Zusätzlich zu dem Vergleich **74** ist noch ein weiterer Vergleich **84** vorgesehen, der die momentane Spannung am Detektoranschlußdotierungsbereich mit einem zweiten Vergleichswert V_{c2} vergleicht und ein entsprechendes Ausgangssignal an die Logikschaltung **82** liefert. Der zweite Vergleichswert V_{c2} kann beispielsweise einem unterem Schwellenwert entsprechen, der angibt, dass noch weitere Entladungszyklen durchzuführen sind, um für dieses Pixel einen aussagekräftigen Messwert zu erhalten. Der erste Vergleichswert V_{c1} kann einem obe-

ren Schwellenwert entsprechen, der angibt, dass der Detektoranschlussdotierungsbereich des Pixels bei Durchführung noch weiterer Entladungszyklen Gefahr läuft, in die Sättigung zu geraten. Somit gibt ein Überschreiten des ersten Vergleichswerts V_{c1} an, dass die Transfersteuerelektrode **144** des jeweiligen Pixels bis zum Ende des aktuellen Messzyklus nicht mehr geöffnet werden braucht, sondern dass die fotogenerierten Ladungen direkt dem Ladungsabflussdotierungsbereich bzw. zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich **152** zugeführt werden können. Der zweite Vergleichswert V_{c2} kann zum Beispiel so ausgewertet werden, dass über alle Pixel (oder eine repräsentative Teilauswahl der Pixel) ausgewertet wird, ob die jeweiligen Spannungen an den Detektoranschlussdotierungsbereichen **142** größer sind als der zweite Vergleichswert V_{c2} . Ist dies für alle Pixel bzw. die repräsentative Teilauswahl der Pixel der Fall, so bedeutet dies, dass der Messzyklus beendet werden kann.

[0065] Wie oben erklärt, hat der PPD-Pixelansatz, welcher die offenbarte technische Lehre nicht anwendet, mehrere Nachteile. Eines der Probleme ist das Auftreten von Nachbildern, das daraus resultiert, dass eine Photodiode nicht vollständig rückgesetzt werden kann in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit aufgrund der zugeordneten großen Kapazität innerhalb der Photodiode und des Rücksetzens durch Unterschwellenwertstrom einerseits, und der Tatsache, dass die in der Photodiode gesammelten photogenerierten Ladungsträger nur aufgrund thermischer Diffusion zu der schwebenden Diffusion gelangen können, aufgrund des Fehlens eines elektrostatischen Potenzialgradienten, welcher diese Ladungsträger veranlassen würde, in Richtung der schwebenden Diffusion zu driften. Dies eliminiert im Falle von herkömmlichen Photodioden auch die Möglichkeit korrekter Zeit- und Ladungsunterscheidung innerhalb mehrerer Integrationszyklen.

[0066] [Fig. 9](#) zeigt in schematischer Weise Details der Pixelauslese- und -steuerschaltung. Die Logikschaltung **72** umfasst einen Taktflankenzähler **75** und einige Logikgatter **71**, **73**, **76**, **77** und **78**. Wie in [Fig. 7](#) dargestellt weist die Logikschaltung **72** einen Auslösesignaleingang, einen Taktsignaleingang, einen Rücksetzsignalausgang, einen Ausgang „TG SIGNAL“ für die Transfersteuerelektrode **144** und einen Ausgang „DG SIGNAL“ für die Abflusssteuerelektrode bzw. zweite Transfersteuerelektrode **154** auf. Weiterhin weist die Logikschaltung **72** noch einen Eingang für ein Vergleichssignal auf, das von dem Vergleichser **74** erzeugt wird. Innerhalb der Logikschaltung **72** wird das Taktsignal zunächst einem Invertierer **71** und dann einem UND-Gatter **76** zugeführt, wo es mit dem invertierten Vergleichssignal UND-kombiniert wird. Die Invertierung des Vergleichssignals erfolgt durch einen Inverter oder ein NICHT-Gatter **77**. Man beachte, dass die Funktion

der Kombination der drei Logikschaltkreise **71**, **77** und **76** auch durch ein NOR-Gatter implementiert werden könnte. Das UND-Gatter **76** stellt an seinem Ausgang das Steuersignal für die Abflusssteuerelektrode **154** bereit. Durch Invertierung des Steuersignals für die Abflusssteuerelektrode **154** mittels eines weiteren Inverters **78** wird das Steuersignal für die erste Transfersteuerelektrode **144** erzeugt. Auf diese Weise sind die Steuersignale für die erste Transfersteuerelektrode **144** und die Abflusssteuerelektrode **154** komplementär zueinander. Es ist aber auch möglich, dass die zwei Steuersignale in einer anderen Relation zueinander stehen. Zum Beispiel ist es denkbar, dass beide Steuersignale zu bestimmten Zeiten gleichzeitig Werte annehmen, durch die sowohl die Transfersteuerelektrode **144** als auch die Abflusssteuerelektrode **154** gesperrt sind. Das Vergleichssignal wird von dem Vergleichser **74** erzeugt und gibt an, ob eine momentan an dem Detektoranschlussdotierungsbereich kumulierte Spannung V_{kumul} höher als die Vergleichsspannung V_{c1} ist. In einem ersten Betriebszustand ist die kumulierte Spannung V_{kumul} kleiner als die Vergleichsspannung V_{c1} . Der Vergleichser **74** liefert dann ein Vergleichssignal mit dem Wert 0 bzw. „low“. Dementsprechend liegt aufgrund der Invertierung durch den Inverter **77** ein Signal mit dem Wert 1 bzw. „high“ an dem UND-Gatter **76** an. Auf diese Weise wird das Taktsignal an den Ausgang des UND-Gatters **76** durchgeschaltet, d. h. der Ausgang des UND-Gatters **76** folgt dem Taktsignal. In einem zweiten Betriebszustand ist die kumulierte Spannung V_{kumul} höher als die Vergleichsspannung V_{c1} und am Ausgang des Vergleichers liegt der Wert 1 bzw. „high“ an. Dies kann so ausgelegt werden, dass im zweiten Betriebszustand für das jeweilige Pixel keine weitere Ladungsakkumulierung mehr durchgeführt werden soll. Durch die Invertierung am Inverter **77** ergibt sich, dass am UND-Gatter **76** einer der Eingänge dauerhaft den Wert 0 bzw. „low“ empfängt. Dementsprechend liefert auch der Ausgang des UND-Gatters **76** dauerhaft den Wert den Wert 0 bzw. „low“. Dies führt dazu, dass die Transfersteuerelektrode **144** bis auf Weiteres gesperrt bleibt und somit keine weiteren Transfervorgänge von dem Sammelbereich zu dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** vorgenommen werden. Die zweite Transfersteuerelektrode bzw. Abflusssteuerelektrode **154** ist dagegen dauerhaft geöffnet, so dass Ladungen aus dem Sammelbereich in den zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich bzw. Ladungsabflussdotierungsbereich fließen können.

[0067] Da bei manchen Ausführungsbeispielen jedes Pixel eine individuelle Pixelsteuerschaltung aufweist, kann es vorkommen, dass für die Pixel innerhalb eines Pixelarrays unterschiedliche Anzahlen von Akkumulierungsvorgängen durchgeführt werden, je nachdem wie stark die auf das jeweilige Pixel einfallende elektromagnetische Strahlung ist. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, kann der Taktflanken-

zähler **75** und eine Skalierungsschaltung **92** vorgesehen sein. Der Taktflankenzähler **75** zählt die Taktflanken des Taktsignals während des Vergleichssignal des Vergleichers **74** den Wert 1 bzw. „high“ hat, was durch das UND-Gatter **73** erreicht wird. Dabei entspricht jede Taktflanke einer bestimmten Anzahl an Entladungs- oder Laserimpulszyklen (z. B. eine Taktflanke entspricht einem Entladungszyklus). Der Taktflankenzähler wird durch das Auslösesignal zurückgesetzt, so dass er bei jedem Messzyklus wieder bei null anfängt zu zählen. Die Anzahl der gezählten Taktzyklen, während der die Ladungsakkumulation in dem Detektoranschlussdotierungsbereich **142** durchgeführt wurde, wird an die Skalierungsschaltung **92** weitergeleitet. Die Skalierungsschaltung **92** führt zum Beispiel eine analoge Division der kumulierten Spannung V_{kumul} durch die Anzahl N der von dem Taktflankenzähler gezählten Taktzyklen durch. Auf diese Weise ergibt sich am Ausgang der Skalierungsschaltung ein skaliertes Ausgangssignal.

[0068] Als optionales Merkmal zeigt **Fig. 9** ein Zeitglied **79**, das an seinem Eingang das Taktsignal aufnimmt und an seinem Ausgang ein modifiziertes Taktsignal ausgibt. Das modifizierte Taktsignal kann z. B. ein Rechtecksignal sein, bei dem die Signalabschnitte mit dem Wert 1 bzw. „high“ jeweils eine definierte Dauer T haben. Das Zeitglied **79** kann z. B. eine monostabile Schaltung oder ein Timer sein. Falls das Zeitglied **79** vorhanden ist, ersetzt es die parallele Verbindung zwischen dem Taktsignaleingang und dem UND-Gatter **76**. Die Impulsdauer des modifizierten Taktsignals kann in dem in **Fig. 9** dargestellten Ausführungsbeispiel eingestellt werden über einen Impulsdauereingang der Logikschaltung **72**. Die gewünschte Impulsdauer kann z. B. in Form einer analogen Spannung oder eines digitalen Werts an das Zeitglied **79** übergeben werden. Auf diese Weise kann ein Benutzer die Zeitdauer einstellen, während welcher nachfolgend auf eine Entladung oder einen Laserimpuls die im Sammelbereich ankommenden Ladungsträger zunächst dem Ladungsabflusdotierungsbereich bzw. zweiten Detektoranschlussbereich **152** zugeführt werden. Nachdem das modifizierte Taktsignal wieder den Wert 0 bzw. „low“ angenommen hat, nimmt das Steuersignal für die Transfersteuerelektrode **144** aufgrund des Inverters **78** den Wert 1 bzw. „high“ an, so dass in der zweiten Taktphase die generierten Ladungsträger von dem Sammelbereich in den ersten Detektoranschlussdotierungsbereich **142** gelangen können. Somit hat der Benutzer eine Kontrolle über die Unterscheidung oder Separierung der auszuwertenden Ladungsträger und der nicht auszuwertenden bzw. getrennt auszuwertenden Ladungsträger. Wenn ein Ladungsträger sich während der zweiten Taktphase im Sammelbereich befindet, so erfüllt dieser Ladungsträger eine Bedingung als auszuwertender Ladungsträger.

[0069] **Fig. 10** zeigt eine schematische Draufsicht auf ein Pixelarray, welches als eindimensionales Array einer Vielzahl von Zeilendetektoren ausgebildet ist. Jedes Pixel umfasst einen Detektionsbereich, der typischerweise eine große Ausdehnung in länglicher Richtung hat, die zwischen z. B. 100 μm und mehreren Millimeter betragen kann. Die Detektionsbereiche der Vielzahl von Pixeln sind in **Fig. 10** mit dem Bezugszeichen **1030** gekennzeichnet. **Fig. 10** zeigt auch die Steuer- und -auslesebereiche **1040** der Pixel.

[0070] **Fig. 11** zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Detektors. Das Verfahren beginnt mit dem Bereitstellen **1102** eines Halbleitersubstrats, das einen ersten Dotierungstyp aufweist. Es folgt ein Erzeugen **1104** einer Wanne in dem Halbleitersubstrat, wobei die Wanne einen zweiten Dotierungstyp aufweist, der von dem ersten Dotierungstyp verschieden ist. Die Wanne weist in einer Richtung parallel zu einer Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierungskonzentration auf. Dann wird ein Detektoranschlussbereich erzeugt, wie durch den Kasten mit dem Bezugszeichen **1106** angedeutet ist. Der Detektoranschlussbereich ist zumindest teilweise in der Wanne in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet, wobei der Detektoranschlussdotierungsbereich den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne aufweist, wobei die Wanne einen Detektionsbereich aufweist, der eine maximale Dotierstoffkonzentration aufweist, die niedriger ist als eine maximale Dotierstoffkonzentration des Anschlussbereichs der Wanne. Daraufhin folgt ein Erzeugen **1108** eines zweiten Detektoranschlussdotierungsbereiches bzw. Ladungsabflusdotierungsbereichs **152**, der zumindest teilweise in der Wanne angeordnet ist. Der Ladungsabflusdotierungsbereich weist den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne **130** auf. Die Aktionen **1106** und **1108** können gleichzeitig erfolgen. Bei **1110** erfolgt ein Erzeugen einer von dem Halbleitersubstrat elektrisch isolierten Transfersteuerelektrode zum Steuern eines Transfers von auszuwertenden freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne. Die Transfersteuerelektrode ist in einem Bereich der Wanne zwischen dem Detektoranschlussdotierungsbereich und dem Detektionsbereich angeordnet. Eine von dem Halbleitersubstrat elektrisch isolierte Abflussteuerelektrode bzw. zweite Transfersteuerelektrode zum Steuern eines Abflusstransfers von nicht auszuwertenden freien Ladungsträgern wird in einem Bereich der Wanne erzeugt, wie bei **1112** angedeutet. Die Abflussteuerelektrode ist in einem Bereich der Wanne zwischen dem Ladungsabflusdotierungsbereich und dem Detektionsbereich angeordnet. Während eines Erzeugens **1114** einer Sammelelektrode zum Sammeln von freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne wird die Sammelelektrode in einem Bereich der Wanne benachbart zu dem Detektoranschlussdotierungsbereich, dem Ladungsab-

flusdotierungsbereich (d. h. dem zweiten Detektoranschlussdotierungsbereich) und dem Detektionsbereich angeordnet.

[0071] Fig. 12 zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines Verfahrens zum Detektieren elektromagnetischer Strahlung. Zunächst werden freie Ladungsträger durch die elektromagnetische Strahlung in einem Detektionsbereich einer Wanne erzeugt, wie gezeigt bei einer Aktion mit dem Bezugszeichen **1202**. Die Wanne ist in einem Halbleitersubstrat angeordnet, wobei das Halbleitersubstrat einen ersten Dotierungstyp und die Wanne einen zweiten Dotierungstyp aufweisen. Der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp sind verschieden, und die Wanne weist in einer Richtung parallel zur Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierstoffkonzentration auf. Anschließend oder auch schon gleichzeitig erfolgt ein Sammeln **1204** der freien Ladungsträger in einem Sammelbereich der Wanne, der zumindest teilweise in der Wanne in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet ist. Dann werden die gesammelten Ladungsträger mittels der entsprechenden Transfersteuerelektrode in einen dafür bestimmten Detektoranschlussdotierungsbereich transferiert. Dann folgt ein Verzweigungspunkt **1206**, im Rahmen dessen festgestellt wird, ob die in dem Detektoranschlussdotierungsbereich gesammelten freien Ladungsträger zumindest einer Bedingung für auszuwertende Ladungsträger entsprechen. Falls die gesammelten freien Ladungsträger der zumindest einen Bedingung entsprechen, dann werden sie ausgewertet. Andernfalls, wenn die gesammelten freien Ladungsträger zumindest einer Bedingung für auszuwertende Ladungsträger nicht entsprechen, wird der Zyklus des Sammelns der photogenerierten Ladungsträger, ihres Transfers und die Auswertung wiederholt.

[0072] In der Vergangenheit hat es unterschiedliche Versuche gegeben, dieses Problem zu lösen, von denen die meisten es vermieden, die Vorteile des gepinnten Photodiodenansatzes aufzugeben. Ein Beispiel ist das US Patent Nr. 5,903,021 von Lee u. a. aus dem Jahr 1995. In ihrem Ansatz umfasst das Pixel eine Photodiode mit einer gepinnten Region, einer nicht-gepinnten Region und Mitteln zum Rücksetzen der Diode. Diese Merkmale finden sich auch in einem Detektor gemäß der hierin offenbarten technischen Lehre. Da ein bedeutender Teil der photoempfindlichen Region ein gepinntes Oberflächenpotenzial hat, behält das Pixel des hierin offenbarten Detektors die diesbezüglichen Vorteile des PPD Pixels bei. Der Unterschied zu dem hierin verwendeten LDPD-Ansatz ist, dass in dem US-Patent Nr. 5,903,021 die Transfersteuerelektrode und der Detektoranschlussdotierungsbereich vollständig eliminiert werden, um den Füllfaktor des Pixels zu erhöhen. Damit werden bei der Vorrichtung gemäß US 5,903,021 auch die Vorteile getrennter photoaktiver Regionen und Auslese-

regionen, eines einstellbaren Ladung-zu-Spannung-Konversionsfaktor, die Ermöglichung eines nicht-destruktiven Auslesens und die Möglichkeit zur Durchführung eines „echten“ korrelierten Doppelabtastens bei Rolling-Shutter-Integrationsbetrieb eliminiert. Auf der Grundlage dieser Idee der Verwendung einer PPD ohne irgendwelche Mittel zur Ladungskopplung, welche eine Unterteilung in photoaktive Region und pixelintegrierte Ausleseregion ermöglichen könnte (für welche die Transfersteuerelektrode benötigt würde, die im Rahmen der Offenbarung des US-Patents Nr. 5,903,021 zuvor eliminiert wurde) merken Lee u. a. korrekt an, dass zur Bereitstellung schneller Rücksetzgeschwindigkeiten es auch notwendig ist, einen schnellen Übergang aller Photoelektroden, die in der gepinnten Region der Photodiode vorliegen, zur nicht-gepinnten Region sicherzustellen. Zu diesem Zweck wird in US 5,903,021 vorgeschlagen, ein elektrisches Feld aufzubauen, das diese Elektroden in die nicht-gepinnte Region zwingt durch Verjüngen der existierenden n-Photodiodenimplantierung, p-dotierten Pinning-Schichtimplantierung oder jeglicher anderer zusätzlicher n- oder p-dotierten Implantierungen, um eine zweidimensionale Modulation des elektrostatischen Potenzials zu bewirken.

[0073] In dem Fall der LDPD-Vorrichtung beruht die gepinnte Region ähnlich dem Vorschlag von Lee u. a. auf einer Photodiodenwanne, die zusätzlich ein nicht-uniformes laterales Dotierungsprofil aufweist. Andererseits wird die nicht-gepinnte Region derselben Photodiodenwanne benutzt, zwei zusätzliche vergrabene Kanalsteuerelektroden herzustellen (wie in vergrabenen ladungsgekoppelten Vorrichtungen („charge coupled devices“, CCD), jedoch mit der Möglichkeit eines nicht-destruktiven Auslesens), die dazu benutzt werden, das elektrostatische Potenzial innerhalb des nicht-gepinnten Teil des Photodetektors zu modulieren. Die Sammelsteuerelektrode **136** wird benutzt, um ein zusätzliches elektrostatisches Potenzialmaximum innerhalb der Photodetektorwanne zu erzeugen, welches als ein Ladungssammlungspunkt dient (und mittels externer Bias-Potenzialen die Gesamtwannenkapazität und die Ladungsträgertransfergeschwindigkeit innerhalb der Photodiode steuern kann). Die Transfersteuerelektrode **144** und die Abflusssteuerelektrode **154** werden nach Maßgabe der hierin offenbarten technischen Lehre beide verwendet, um den schnellen Transfer von photogenerierten Ladungsträgern, die unterhalb der Sammelsteuerelektrode **136** und/oder der Transfersteuerelektrode **144** gesammelt sind, in eine (oder mehrere) schwebende Diffusionen bzw. Detektoranschlussdotierungsbereich(e) **142** während der Rücksetz- und Auslesebetriebsarten zu ermöglichen, oder diesen Transfer durch Erzeugen einer Potenzialbarriere für die in dieser Region gesammelten Ladungsträger während der Ladungssammlungsbetriebsart zu verhindern. Dieser Ansatz erlaubt einen externen Einfluss auf die Barrierehöhe und ermöglicht gleichzei-

tig einen nahezu rauschfreien und schnellen (mit Transitzeiten von lediglich mehreren Mikrosekunden für Detektionsbereiche mit Längen $L > 200 \mu\text{m}$) Ladungstransfer durch die nicht-gepinnte Region, wenn die Potenzialmaxima unterhalb der Steuerelektroden weg von der Siliziumoberfläche gedrückt werden aufgrund des Ansatzes eines CCDs mit vergrabener Kanal. Die Eigenschaften einer Trennung von photoaktiver Region und Ausleseregion sowie eines Ladungskopplungsansatzes finden sich (auch) bei der offenbarten technischen Lehre.

[0074] Rhodes u. a. stellen im US-Patent Nr. 7,391,066 B2 und in der US-Patentanmeldungsveröffentlichung Nr. 2004/0253761 A1 zutreffend fest, dass die stark dotierten n^+ -Regionen, wie sie in dem hier offenbarten Detektor z. B. im Detektoranschussdotierungsbereich **142** vorhanden sind, neben einer Bereitstellung guter Ladungstransfereigenschaften und einem guten ohmschen Kontakt zu metallischen Leitern, ein Ladungsleck in dem PPD-Pixel in Richtung der Substratregion erzeugen. Ein derartiges Ladungsleck verringert das gesammelte Lichtsignal, dass zu der Steuerelektrode des Quellenfolgertransistors **220** geschickt wird. Gemäß der Erkenntnisse von Rhodes u. a. wird die Transfersteuerelektrode eliminiert (welche in dem LDPD-Vorschlag noch existiert) und der ohmsche Kontakt zu der Photodiode mittels einer schwach dotierte Diffusion (n^-) hergestellt, wobei die Photodiode gleichzeitig als Quellenelektrode des Rücksetztransistors dient. Nach Ansicht von Rhodes u. a. wird auf diese Weise eine schwebende Diffusion (n^- -Kontakt zu der Photodiode) geschaffen, die keinem Ladungsleck unterliegt. In dem LDPD-Pixel wird diese Trennung von Detektoranschussdotierungsbereich **142** und der photoaktiven Region durch Einführen einer extern gesteuerten Barriere zwischen ihnen in Form der Transfersteuerelektrode **144** bereitgestellt.

[0075] Agwani u. a. befassen sich in dem US Patent Nr. 5,705,836 mit denselben Ladungstransfer- und Nachbildproblemen wie die hierin offenbarte technische Lehre, in ihrem Fall jedoch bei CCD Kameras. Sie geben an, eine schnelle und effiziente Ladungstransferstruktur zur Verwendung in ladungsgekoppelten Vorrichtung-Arrays (CCD-Arrays) mit großem Pixelabstand bereitgestellt zu haben. Bei ihrem Vorschlag beinhalten die unterhalb der CCD-Gatter liegenden Kanalstrukturen eine Vielzahl von Flächenstrukturen, wobei jede Flächenstruktur durch ein einheitliches Potenzial charakterisiert ist, welches unterschiedlich ist von dem Potenzial, welches jede der anderen Flächenstrukturen charakterisiert, d. h. Einführung eines nicht-uniformen lateralen Dotierungsprofils unterhalb der CCD-Strukturen. Abgesehen von der Tatsache, dass diese Idee vollständig auf CCD-Arrays basiert und dass die LDPD-Pixelkonfiguration für CMOS-Photo-Arrays entwickelt ist, re-

duziert die Tatsache, dass die nicht-uniforme laterale Dotierung von Polysilizium-Steuerelektroden bedeckt ist (wie es bei CCD-Vorrichtungen der Fall ist), dessen Photoempfindlichkeit in den ultravioletten, blauen und grünen Bereichen des Spektrums. Darüber hinaus erfordert ein LDPD-Pixel ein wesentliches einfacheres Steuersignalsystem als ein durchschnittliches CCD-Array.

[0076] Ein anderer Ansatz, der angibt, dieses Problem zu lösen, wurde von Jan Lohstroh in dem US Patent Nr. 4,245,233 aus dem Jahr 1981 vorgeschlagen. In diesem Patent wird vorgeschlagen, eine Photosteuerelektrode mit hohem Widerstand als einen Photodetektor zu verwenden und an seinen Kanten parallel zu der photoaktiven Fläche eine Potentialdifferenz anzulegen, um innerhalb der Verarmungsschicht, die in der Kanalregion unterhalb der Photosteuerelektrode verursacht wird, ein Driftfeld zu erzeugen, welches sich quer über die photoempfindliche Fläche erstreckt, im Wesentlichen parallel zu der Hauptoberfläche der Photosteuerelektrode und in der Richtung eines Kantenabschnitts der Photosteuerelektrode, so dass die photogenerierten Ladungsträger an der gesamten photoaktiven Fläche entlang des besagten Driftfelds zu dem genannten Kantenabschnitt transportiert werden, wo sie schließlich den Ausleseknuten (schwebende Diffusion FD) erreichen. Neben der herabgesetzten Photoempfindlichkeit in den ultravioletten und blauen Regionen des Spektrums, welche allen Photosteuerelektrodenansätzen eigen ist, ist bei diesem Vorschlag einer der Hauptnachteile der durch die Photosteuerelektrode fließende Strom aufgrund ihres hohen Widerstands und der quer über sie erzeugten Potentialdifferenz. Dieser Strom bewirkt eine hohe Leistungsaufnahme der vorgeschlagenen Vorrichtung und begrenzt die Pixelanzahl, die funktional in einem photoempfindlichen Pixel-Array hergestellt werden kann. Der hierin vorgeschlagene LDPD-Pixel hat nicht diese Art von Leistungsaufnahme- und Wärmeerzeugungsproblemen.

[0077] Darüber hinaus können die normalerweise vorhandenen Gesamtwannkapazitätsprobleme von Photosteuerelektroden-, CCD- und PPD-Pixelstrukturen ausgehend von der hierin vorgestellten technischen Lehre zumindest teilweise durch ein geeignetes Design der Sammelsteuerelektrode **136**, des Detektoranschussdotierungsbereichs **142** und deren geeigneten Beaufschlagung mit elektrischem Potenzial gelöst werden, wenn der Photodetektor hergestellt wurde, da die Ladung tatsächlich unterhalb der Sammelsteuerelektrode gesammelt wird und schließlich durch den Detektoranschussdotierungsbereich **142** ausgelesen wird.

[0078] Der Rauschabstand kann weiter verbessert werden bei dieser Vorrichtung durch Verwendung spezieller Auslesetechniken, wie einer Durchschnitts-

wertbildung durch mehrfaches Auslesen zur Ladungsakkumulierung, spezielle korrelierte Doppelabtastanwendungen (engl. „correlated double sampling“, CDS) oder Pixel-interne Signalverarbeitung.

[0079] All das oben Gesagte deutet in Richtung einer ultrarauscharmen CMOS-kompatiblen Photodetektorlösung mit hoher Ansprechgeschwindigkeit, großer photoaktiver Fläche und hoher Vielseitigkeit, die, da kostengünstiger als der normalerweise Photoelektronenvervielfacher-Ansatz, die Zukunft für moderne Spektroskopie sein könnte.

[0080] Die bereits erwähnten Vorteile eines CMOS-Zeilendetektors mit induzierten lateralen Driffeldern aufgrund entsprechender Maßnahmen bei der Wannenerstellung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Effizienz eines lateralen elektrostatischen Potenzialgradienten, der durch einen Dotierstoffkonzentrationsgradienten innerhalb des Photodetektors induziert wird, führt dazu, dass die Driftmechanismen die Diffusionsmechanismen während der Ladungstransfer- und Auslesephasen dominieren, d. h. die Ansprechgeschwindigkeit des Photodetektors ist auf diese Weise spürbar verbessert wenn verglichen mit Lösungen des Standes der Technik. Dies ermöglicht ein Merkmal einer Zeitdiskriminierung, die für die Ladungsdiskriminierung verwendet wird, wobei die „gewünschte“ Ladung von der „unerwünschten“ oder getrennt auszuwertenden Ladung innerhalb eines geeigneten Zeitintervalls getrennt werden kann, was der Wirkung eines Photoelektronenvervielfachers ähnelt.

- Das Vorhandensein der geerdeten, hochdotierten Schicht (vom selben Typ wie das Siliziumsubstrat, auf dem der Photodetektor hergestellt wird) auf der diffundierten, flachen Wanne „drückt“ das elektrostatische Potenzialmaximum weg von der Siliziumoberfläche (**Fig. 3a**) und verstärkt Rekombinationsmechanismen an der Siliziumoberfläche. Diese zwei Effekte reduzieren die Oberflächen-erzeugte Dunkelstromkomponente des Photodetektors und die Menge an äquivalenter Rauschladung („equivalent noise charge“, ENC), was einen viel besseren Rauschabstand liefert, wenn verglichen mit Lösungen des Standes der Technik. Dieses Resultat ist essentiell für Integrationszeiten, die zwischen mehreren hundert Mikrosekunden bis zu mehreren Sekunden schwanken können und erlaubt, dass diese Lösung in Spektrographieanwendungen verwendet werden kann.

- Die Tatsache, dass die Ausleseknotten, hier der oder die Detektoranschlussdotierungsbereich(e) bzw. die schwebende Diffusion(en), von der photoaktiven Fläche durch die Transfersteuerelektrode(n) getrennt werden kann/können, ermöglicht ein nicht-destruktives Auslesen, was eine Signalüberwachung über der Zeit und die Möglich-

keit der Ladungssammlung ohne Rücksetzen des oder der Detektoranschlussdotierungsbereich(e)s über mehrere Bestrahlungsperioden.

- Die Gesamtwannenkapazität oder die maximal mögliche Menge an gesammelter Ladung hängt von der Sammelsteuerelektrode und dem/ den Detektoranschlussdotierungsbereich(en), deren passender Gestaltung zur Optimierung dieser Eigenschaft und deren externer Potenzialbeaufschlagung („bias“) ab und nicht mehr von den flachen Wanneneigenschaften, was das normalerweise bei den Lösungen nach dem Stand der Technik vorhandene Problem ist. Bei der vorliegenden offenbarten technischen Lehre stellt dies ein wesentliches Merkmal dar aufgrund der Notwendigkeit, über lange Zeiträume über mehrere Integrationszyklen Ladung zu sammeln.

- Der Dynamikbereich und der Rauschabstand können verbessert werden durch mehrfache Ladungstransferakkumulationen ohne Hinzufügen von zusätzlichem Ausleserauschen zu dem Pixelausgangssignal, was Möglichkeiten eröffnet, den CMOS APS (complementary metal oxide semiconductor active pixel sensor) für Spektrographie und andere ähnliche Anwendungen zu verwenden.

[0081] Obwohl manche Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, sodass ein Block oder ein Bauelement einer Vorrichtung auch als ein entsprechender Verfahrensschritt oder als ein Merkmal eines Verfahrensschrittes zu verstehen ist. Analog dazu stellen Aspekte, die im Zusammenhang mit einem oder als ein Verfahrensschritt beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Details oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar. Einige oder alle der Verfahrensschritte können durch einen Hardware-Apparat (oder unter Verwendung eines Hardware-Apparats), wie zum Beispiel einen Mikroprozessor, einen programmierbaren Computer oder eine elektronische Schaltung ausgeführt werden. Bei einigen Ausführungsbeispielen können einige oder mehrere der wichtigsten Verfahrensschritte durch einen solchen Apparat ausgeführt werden.

[0082] Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass abhängig von den Gegebenheiten, das erfindungsgemäße Schema auch in Software implementiert sein kann. Die Implementierung kann auf einem digitalen Speichermedium, insbesondere einer Diskette, einer CD oder einer DVD o. a. mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen erfolgen, die so mit einem programmierbaren Computersystem zusammenwirken können, dass das entsprechende Verfahren ausgeführt wird. Allgemein besteht die Erfindung somit auch in einem Computerprogrammprodukt mit auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Pro-

grammcode zur Durchführung des Verfahrens, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Rechner abläuft. In anderen Worten ausgedrückt kann die Erfindung somit als ein Computerprogramm mit einem Programmcode zur Durchführung zumindest eines der Verfahren realisiert werden, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer abläuft.

[0083] Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen lediglich eine Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung dar. Es versteht sich, dass Modifikationen und Variationen der hierin beschriebenen Anordnungen und Einzelheiten anderen Fachleuten einleuchten werden. Deshalb ist beabsichtigt, dass die Erfindung lediglich durch den Schutzzumfang der nachstehenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Einzelheiten, die anhand der Beschreibung und der Erläuterung der Ausführungsbeispiele hierin präsentiert wurden, beschränkt sei.

Patentansprüche

1. Detektor zur Detektion elektromagnetischer Strahlung mit folgenden Merkmalen:
 einem Halbleitersubstrat (**120**), das einen ersten Dotierungstyp aufweist;
 einer Wanne (**130**) in dem Halbleitersubstrat (**120**), wobei die Wanne (**130**) einen zweiten Dotierungstyp aufweist, wobei der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp verschieden sind, und wobei die Wanne (**130**) in einer Richtung parallel zu einer Oberfläche des Halbleitersubstrats (**120**) eine ansteigende Dotierstoffkonzentration aufweist;
 zwei oder mehreren Detektoranschlußdotierungsbereichen (**142, 152**), die zumindest teilweise in der Wanne (**130**) in einem Anschlußbereich der Wanne angeordnet sind, wobei die Detektoranschlußdotierungsbereiche (**142, 152**) den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne (**130**) aufweisen, wobei die Detektion der elektromagnetischen Strahlung auf einer Erzeugung von freien Ladungsträgern durch die elektromagnetische Strahlung in einem Detektionsbereich der Wanne (**130**) basiert, der eine maximale Dotierstoffkonzentration aufweist, die niedriger ist als eine maximale Dotierstoffkonzentration des Anschlußbereichs der Wanne (**130**);
 zwei oder mehreren von dem Halbleitersubstrat (**120**) elektrisch isolierten Transfersteuerelektroden (**144, 154**) zum Steuern eines Transfers von auszuwertenden freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne (**130**), wobei die Transfersteuerelektroden (**144, 154**) jeweils in einem Bereich der Wanne (**130**) zwischen einem der Detektoranschlußdotierungsbereiche (**142, 154**) und dem Detektionsbereich angeordnet sind; und
 einer Sammelelektrode (**136**) zum Sammeln von freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne (**130**), wobei die Sammelsteuerelektrode (**136**) elektrisch isoliert von dem Halbleitersubstrat (**120**) ist

und in einem Bereich der Wanne (**130**) benachbart zu den Detektoranschlußdotierungsbereichen (**142, 152**), den Transfersteuerelektroden (**144**) und dem Detektionsbereich angeordnet ist.

2. Detektor nach Anspruch 1, wobei die Detektoranschlußdotierungsbereiche (**142, 152**) benachbart zueinander an einer Seite der Wanne (**130**) angeordnet sind.

3. Detektor nach Anspruch 1 oder 2, der als weiteres Merkmal einen Isolationsbereich zwischen zumindest zwei der Detektoranschlußdotierungsbereiche (**142, 152**) aufweist.

4. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der als weiteres Merkmal eine Elektrodensteuerung zum Ansteuern von zumindest einer der Transfersteuerelektroden (**144, 154**) aufweist.

5. Detektor nach Anspruch 4, wobei die Elektrodensteuerung ein Zeitglied umfasst, das ausgelegt ist, nachfolgend auf ein Ereignis ein Ablaufen einer bestimmten Zeitspanne mittels eines Zeitgliedausgabesignals anzuzeigen, wobei sich ein Vorliegen einer von den auszuwertenden Ladungsträgern zu erfüllenden Bedingung aus dem Zeitgliedausgabesignal ergibt.

6. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der als weiteres Merkmal eine Rücksetzschialtung (**210**) zum Rücksetzen der Detektoranschlußdotierungsbereiche (**142, 152**) aufweist, wobei der Detektor ausgelegt ist, zwischen zwei Rücksetzvorgängen eine Vielzahl von Transfervorgängen der auszuwertenden freien Ladungsträger durchzuführen, um so eine Ladungsmenge der auszuwertenden freien Ladungsträger über die Vielzahl der Transfervorgänge zu integrieren.

7. Detektor nach Anspruch 6, der als weiteres Merkmal eine Ladungsmengenmessung und einen Vergleicher (**74**) umfasst, die ausgelegt sind, eine gemessene Ladungsmenge in einem der Detektoranschlußbereiche (**142, 152**) mit einem Schwellenwert für die gemessene Ladungsmenge zu vergleichen, um festzustellen, ob zumindest ein weiterer Transfervorgang mittels der Transfersteuerelektrode (**144, 154**) durchzuführen ist, die dem Detektoranschlußbereich (**142, 152**) zugeordnet ist.

8. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein oder mehrere Detektoranschlußdotierungsbereiche (**142, 152**) mit einer Potenzialquelle verbunden sind zur Bereitstellung eines elektrischen Potentials (V_{dd}), das ausgelegt ist, als Senke für die freien Ladungsträger zu dienen.

9. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, der als weiteres Merkmal zumindest einen

Zähler (75) für eine Anzahl von Transfervorgängen seit einem zuletzt erfolgten Rücksetzen des Detektoranschlussdotierungsbereichs (142) aufweist.

10. Detektor nach Anspruch 9, der als weiteres Merkmal eine Skalierungsschaltung (92) zum Skalieren eines Detektorausgangssignals auf der Basis der Anzahl von Transfervorgängen aufweist.

11. Verfahren zum Herstellen eines Detektors mit folgenden Merkmalen:

Bereitstellen (1102) eines Halbleitersubstrats (120), das einen ersten Dotierungstyp aufweist;

Erzeugen (1104) einer Wanne (130) in dem Halbleitersubstrat (120), wobei die Wanne einen zweiten Dotierungstyp aufweist, der von dem ersten Dotierungstyp verschieden ist, und wobei die Wanne (130) in einer Richtung parallel zu einer Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierungskonzentration aufweist;

Erzeugen (1106) von zumindest zwei Detektoranschlussdotierungsbereichen (142, 152), die zumindest teilweise in der Wanne (130) in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet sind, wobei die Detektoranschlussdotierungsbereiche (142, 152) den gleichen Dotierungstyp wie die Wanne aufweist, wobei die Wanne einen Detektionsbereich aufweist, der eine maximale Dotierstoffkonzentration aufweist, die niedriger ist als eine maximale Dotierstoffkonzentration des Anschlussbereichs der Wanne (130);

Erzeugen (1110) von zumindest zwei von dem Halbleitersubstrat elektrisch isolierten Transfersteuerelektrode (144, 154) zum Steuern eines Transfers von auszuwertenden freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne, wobei die Transfersteuerelektroden (144, 154) jeweils in einem Bereich der Wanne zwischen den zumindest zwei Detektoranschlussdotierungsbereichen (142, 152) und dem Detektionsbereich angeordnet ist; und

Erzeugen (1114) einer Sammelelektrode (136) zum Sammeln von freien Ladungsträgern in einem Bereich der Wanne und zum Erzeugen eines konstanten elektrostatischen Potentials, das eine gleichmäßige Verteilung der unter der Sammelelektrode gesammelten Ladungsträger zwischen mehreren Detektoranschlussdotierungsbereichen jeweils mittels einer Transfersteuerelektrode (144, 154) bewirkt, wobei die Sammelelektrode (136) in einem Bereich der Wanne benachbart zu den Detektoranschlussdotierungsbereichen (142, 152), den Transfersteuerelektroden (144, 154) und dem Detektionsbereich angeordnet ist.

12. Verfahren zum Detektieren elektromagnetischer Strahlung mit folgenden Merkmalen:

Erzeugen (1202) von freien Ladungsträgern durch die elektromagnetische Strahlung in einem Detektionsbereich einer Wanne (130), wobei die Wanne in einem Halbleitersubstrat (120) angeordnet ist, wobei das Halbleitersubstrat einen ersten Dotierungstyp

und die Wanne einen zweiten Dotierungstyp aufweisen, wobei der erste Dotierungstyp und der zweite Dotierungstyp verschieden sind, und wobei die Wanne in einer Richtung parallel zur Oberfläche des Halbleitersubstrats eine ansteigende Dotierstoffkonzentration aufweist;

Sammeln (1204) der freien Ladungsträger in einem Sammelbereich der Wanne, der zumindest teilweise in der Wanne (130) in einem Anschlussbereich der Wanne angeordnet ist, oder in zwei oder mehreren Detektoranschlussdotierungsbereichen (142, 152), die mittels der zugeordneten Transfersteuerelektroden (144, 154) mit dem Sammelbereich der oben genannten Wanne (130) verbunden sind;

Transferieren (1206) der im Sammelbereich der Wanne (130) gesammelten Ladungsträger zu einem oder mehreren Detektoranschlussdotierungsbereichen mittels der zugeordneten Transfersteuerelektroden;

Feststellen (1208), ob die in den Detektoranschlussdotierungsbereichen gesammelten freien Ladungsträger zumindest einer Bedingung für auszuwertende Ladungsträger entsprechen;

in Abhängigkeit davon, ob die in den Detektoranschlussdotierungsbereichen gesammelten freien Ladungsträger der zumindest einen Bedingung entsprechen:

a) Wiederholen des Erzeugens, Sammelns und Transferierens der Ladungsträger wie oben beschrieben oder

b) Ausgeben (1210) von Detektorausgangssignalen, die einer kumulierten Ladungsmenge in einem der Detektoranschlussbereiche entsprechen, wenn die kumulierte Ladungsmenge einen Ladungsschwellenwert erreicht oder überschritten hat.

13. Verfahren nach Anspruch 12, das als weitere Merkmale umfasst:

ein Rücksetzen von zumindest einem der zwei oder mehr Detektoranschlussdotierungsbereiche (142, 152) durch temporäres Verbinden des Detektoranschlussdotierungsbereichs mit einer Potenzialquelle, die ein für die transferierten freien Ladungsträger als Senke dienendes elektrisches Potenzial bereitstellt; Feststellen, ob eine seit dem Rücksetzen in den Detektoranschlussdotierungsbereichen (152) kumulierte Ladungsmenge einen Ladungsschwellenwert (V_{c1} ; V_{c2}) erreicht oder überschritten hat.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, das als weitere Merkmale umfasst:

Zählen einer Anzahl von Zyklen des Transferierens der gesammelten und auszuwertenden freien Ladungsträger von dem Sammelbereich zu einem der Detektoranschlussdotierungsbereiche (142, 152); und

Skalieren eines Detektorausgangssignals des genannten Detektoranschlussdotierungsbereichs als Funktion der Anzahl der Zyklen.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei die elektromagnetische Strahlung über der Zeit gemäß einem zeitlichen Verlauf variiert und das Verfahren weiter umfasst:

Transferieren der im Detektionsbereich erzeugten Ladungsträger zu unterschiedlichen Detektoranschlussdotierungsbereichen mittels einer Auswahl der Transfersteuerelektroden, die den unterschiedlichen Detektoranschlussbereichen zugeordnet sind, in zeitlich variabler Weise synchron zum zeitlichen Verlauf der elektromagnetischen Strahlung;

Auswerten der in den unterschiedlichen Detektoranschlussdotierungsbereichen gesammelten Ladungsmengen und Ausgabe der Detektorausgangssignale, die den gesammelten Ladungsmengen entsprechen.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

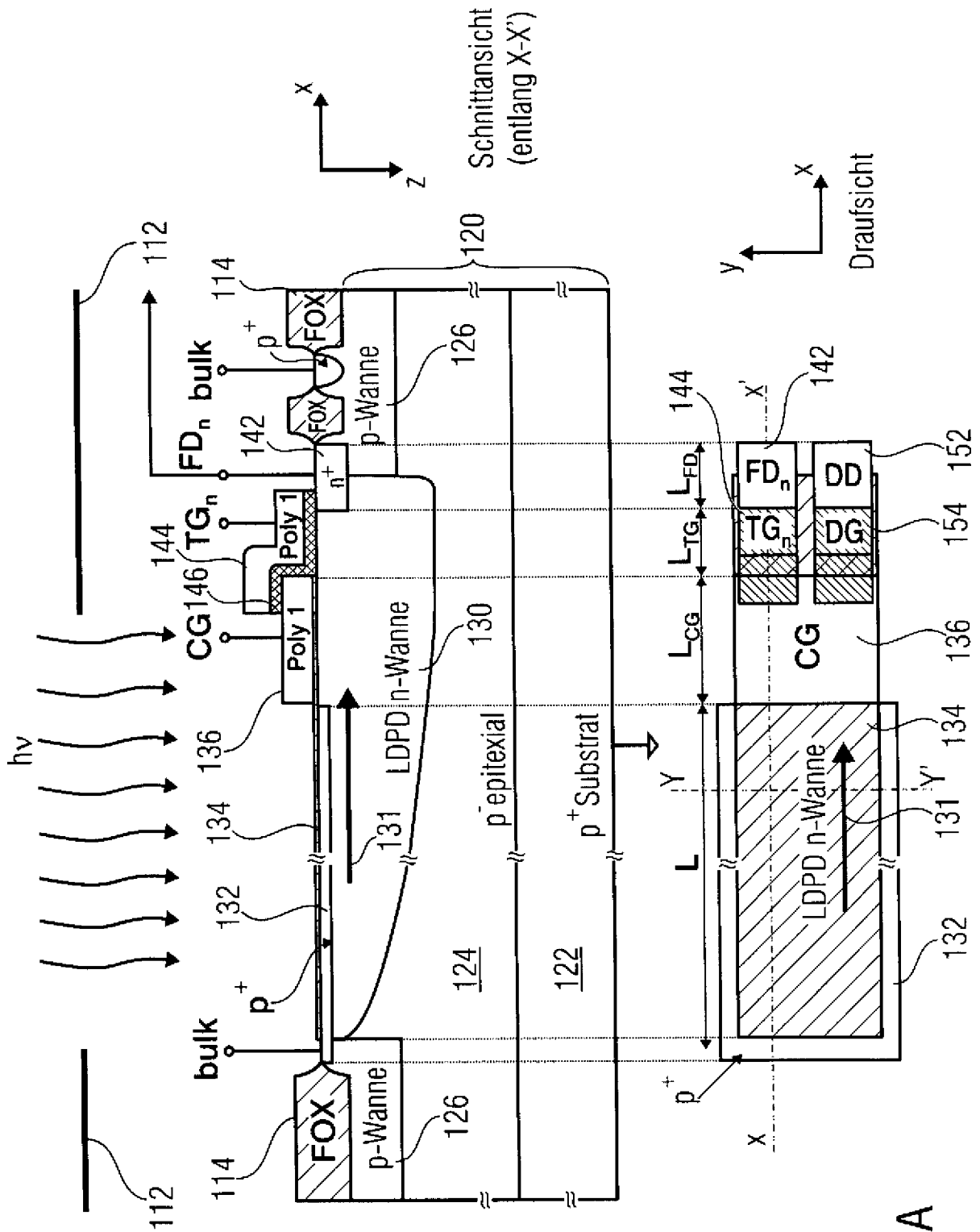


FIG 1A

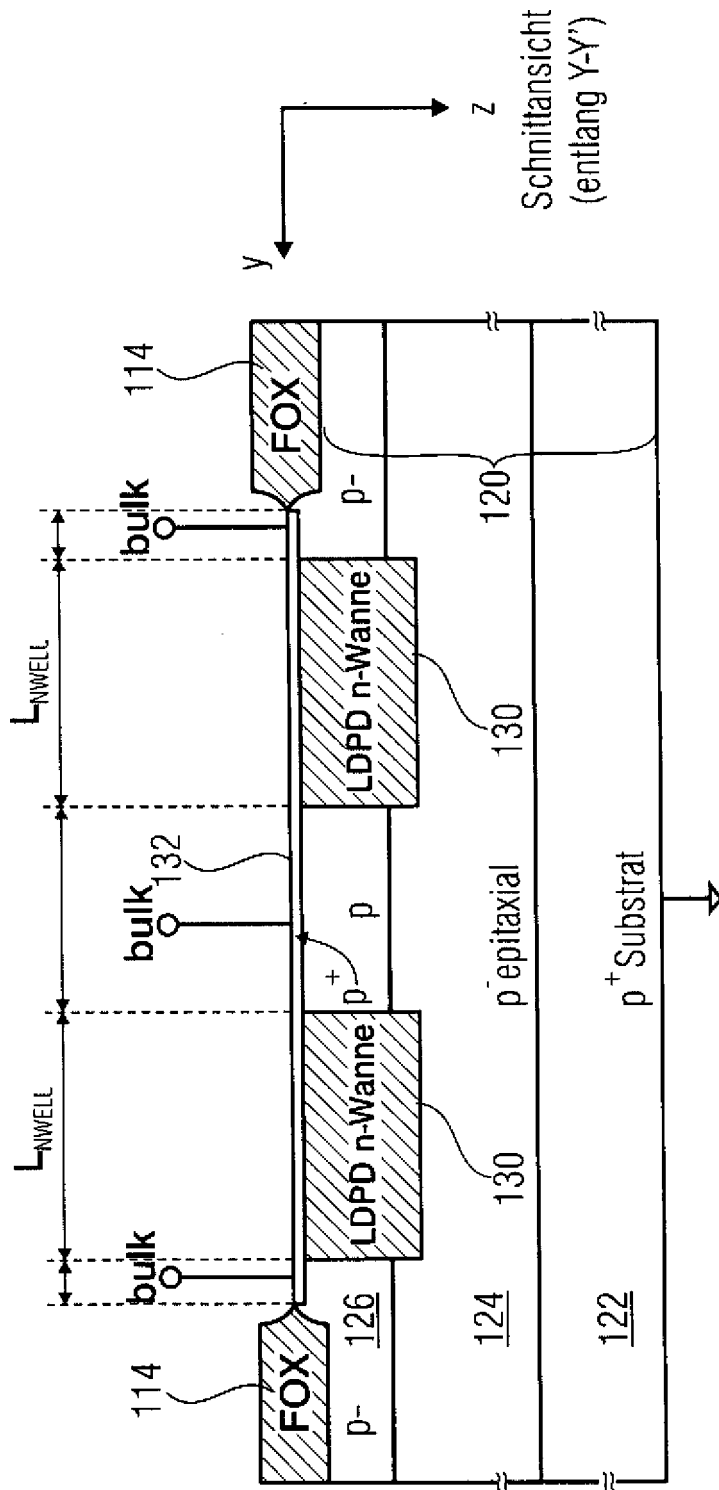


FIG 1B

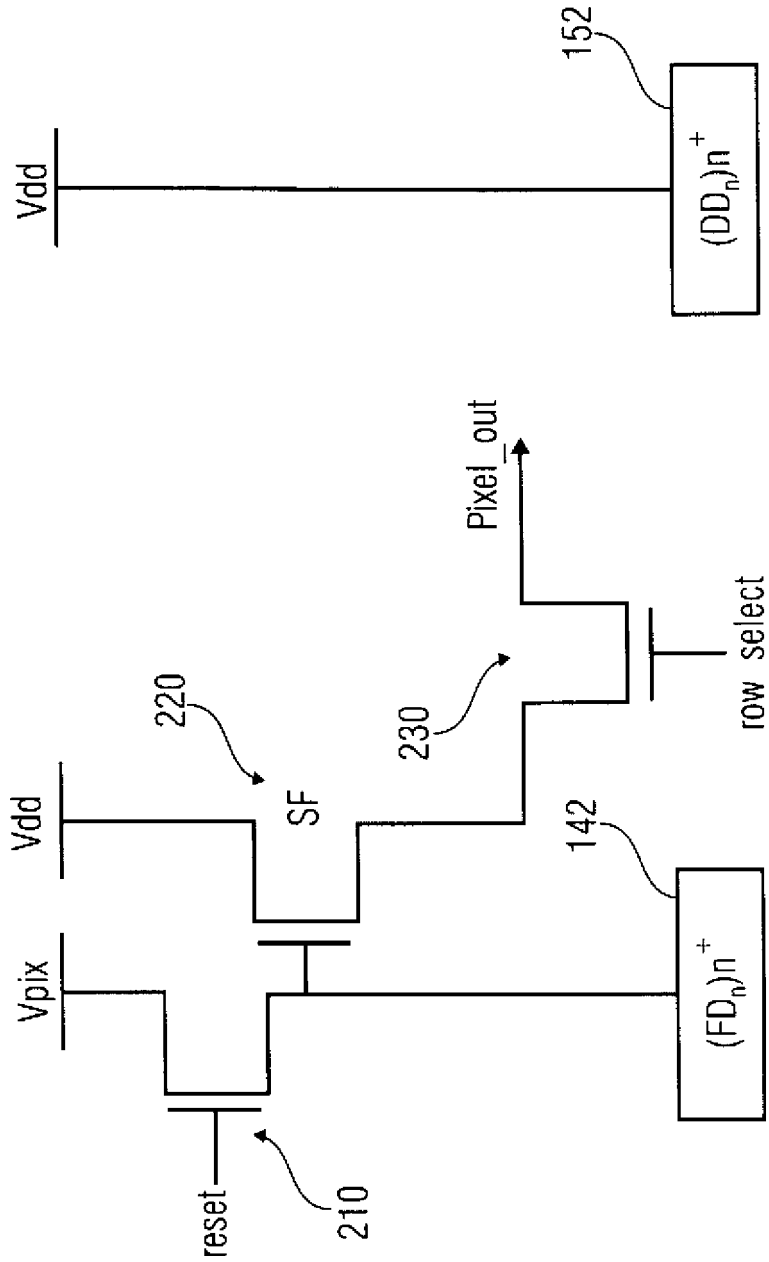


FIG 2

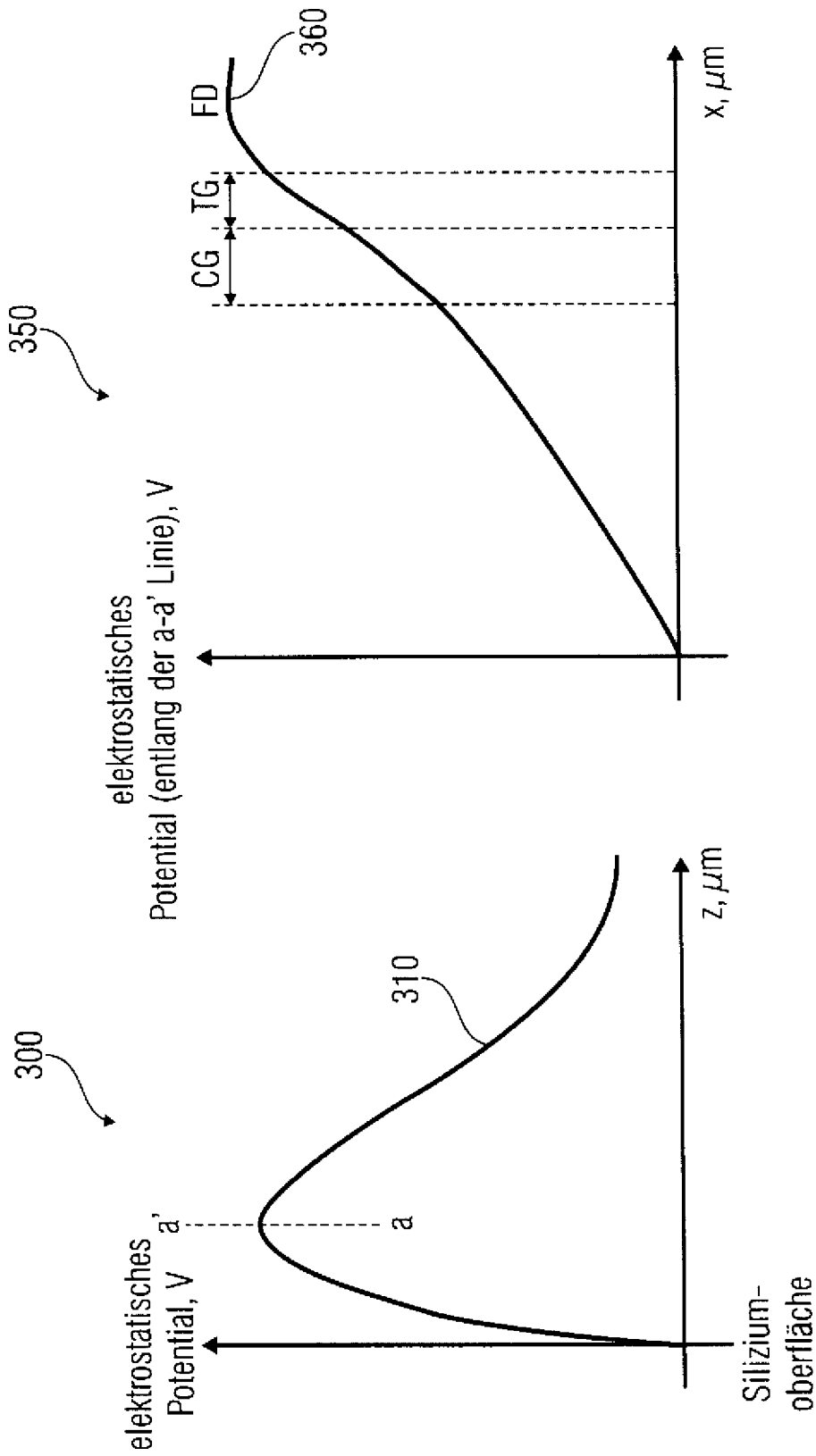


FIG 3B

FIG 3A

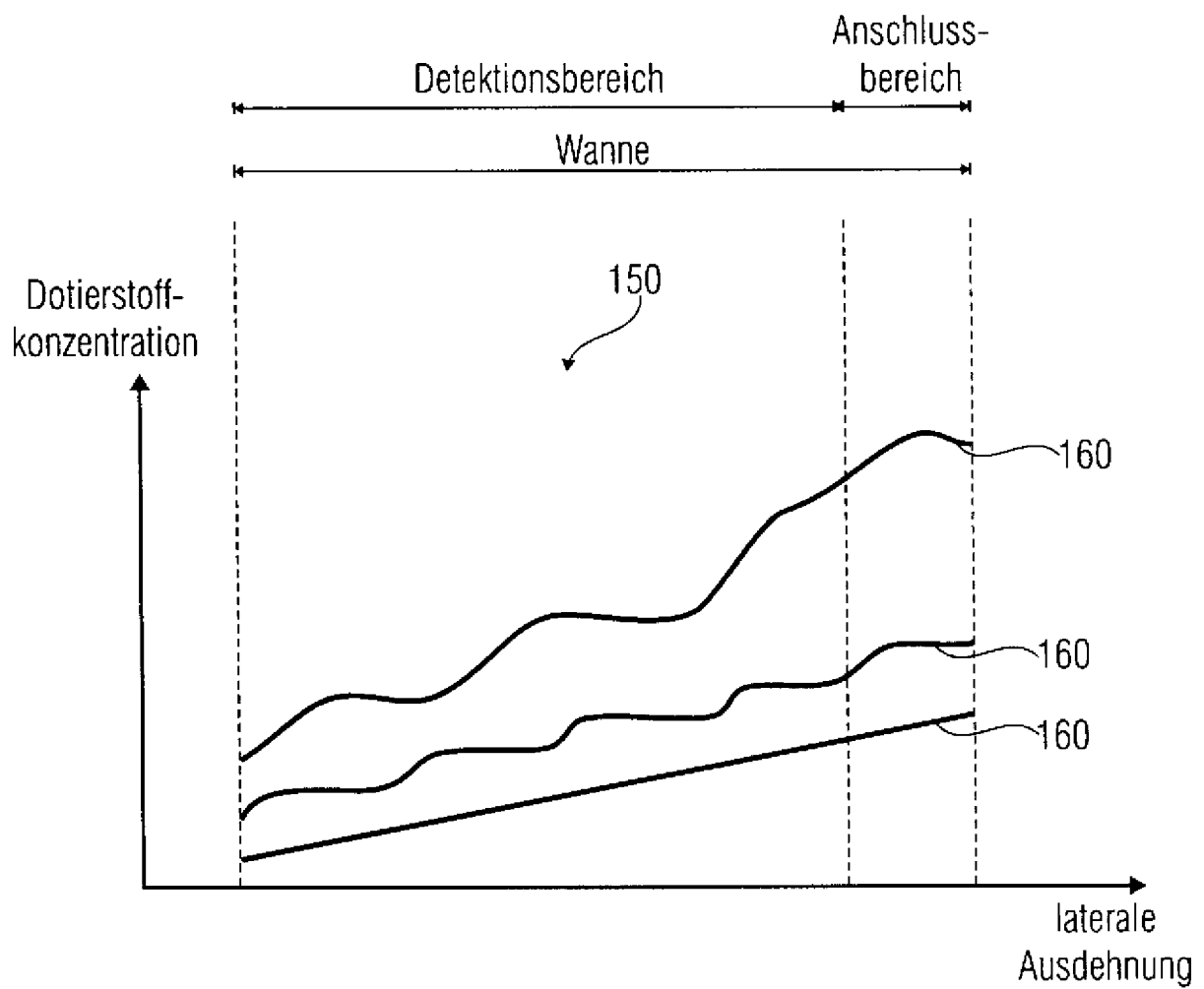


FIG 4

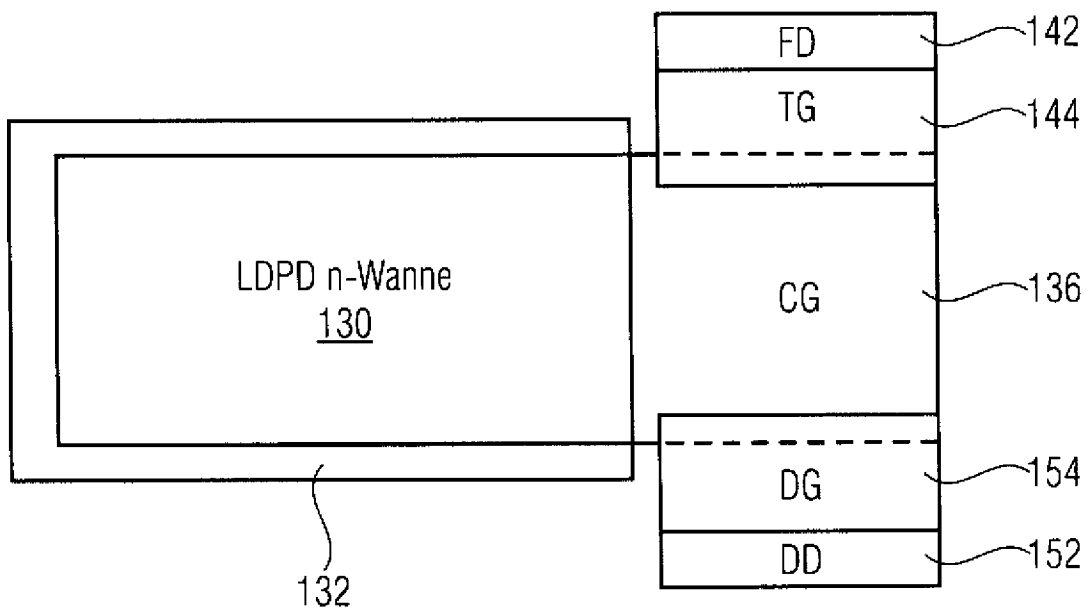


FIG 5

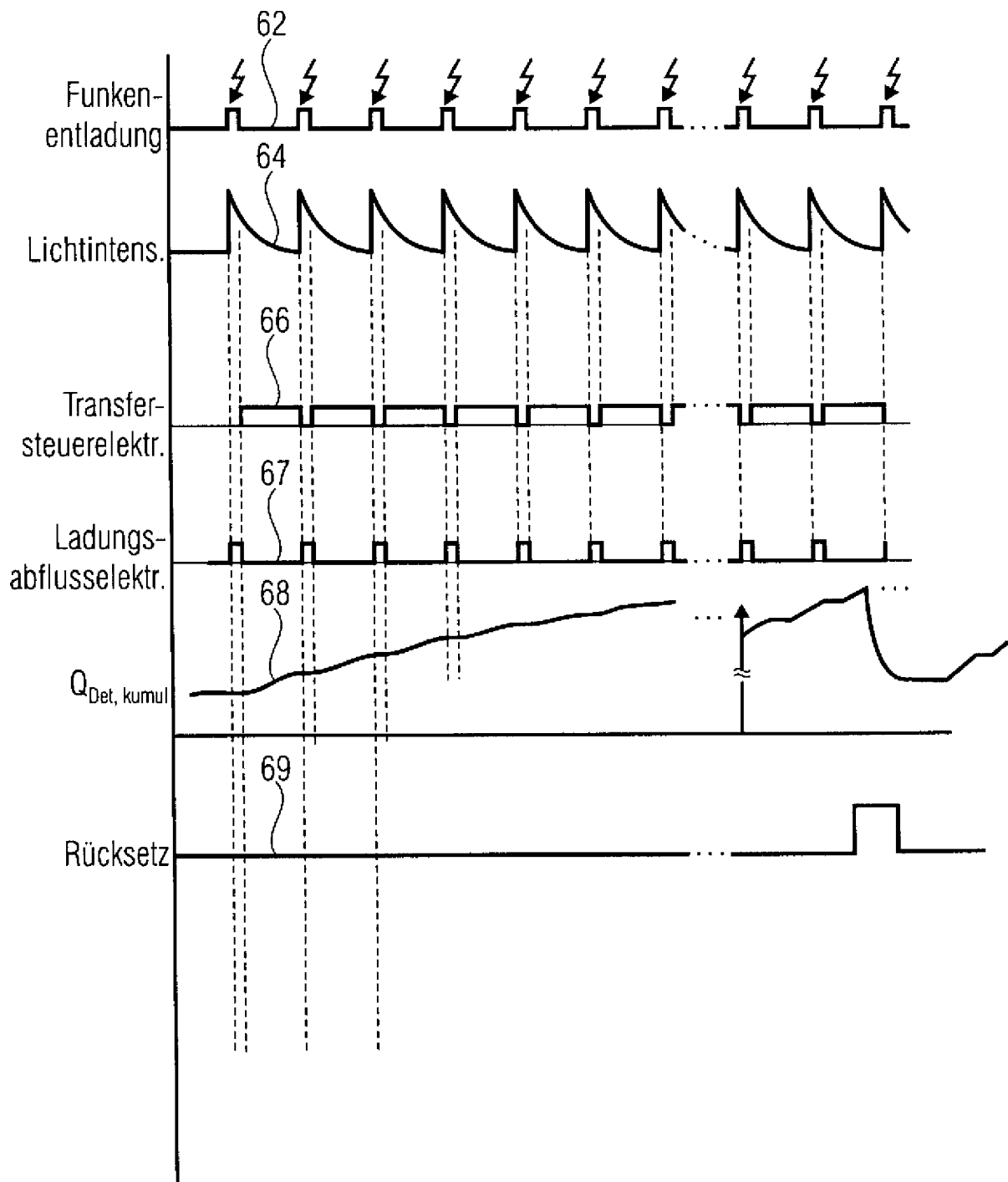


FIG 6

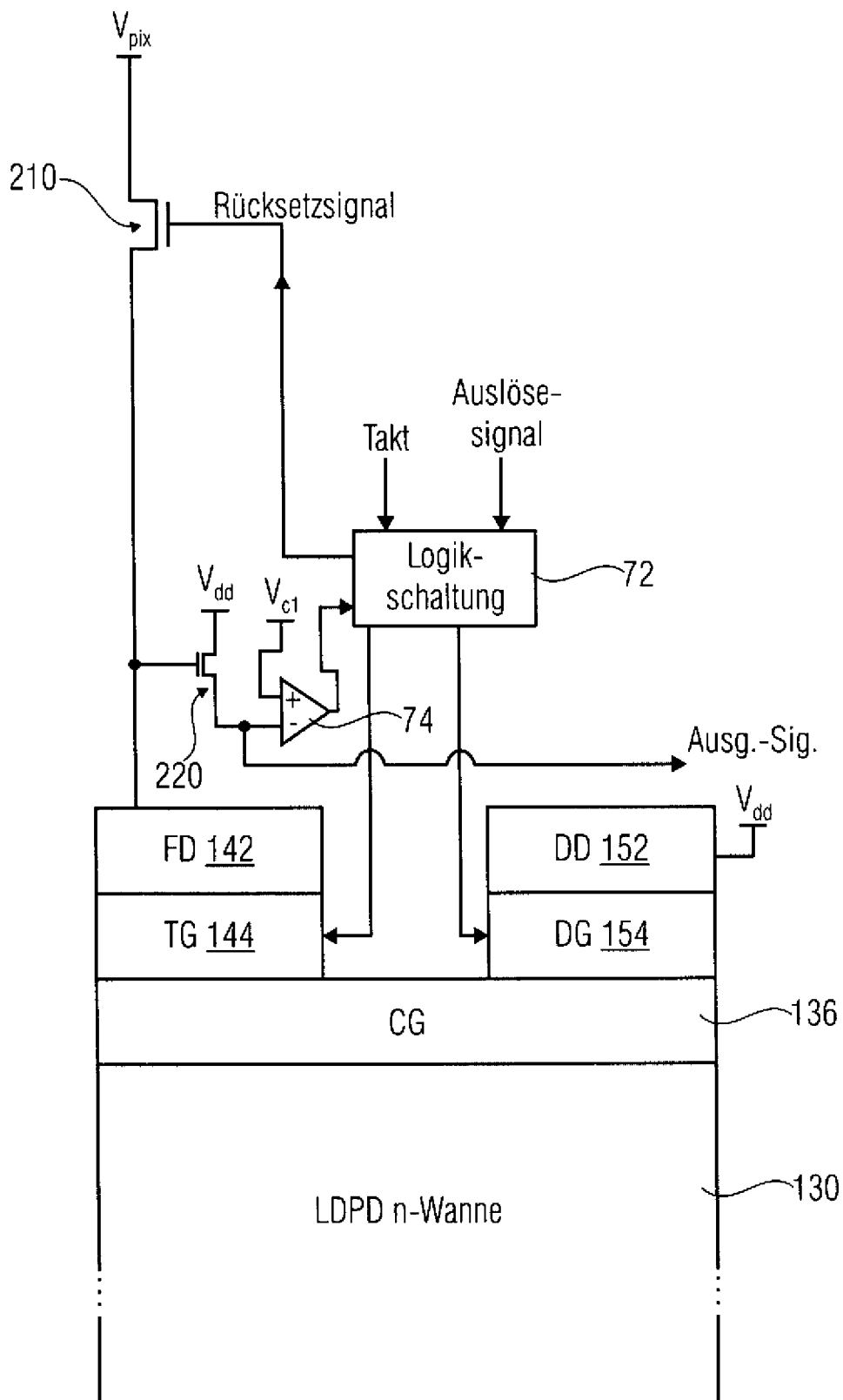


FIG 7

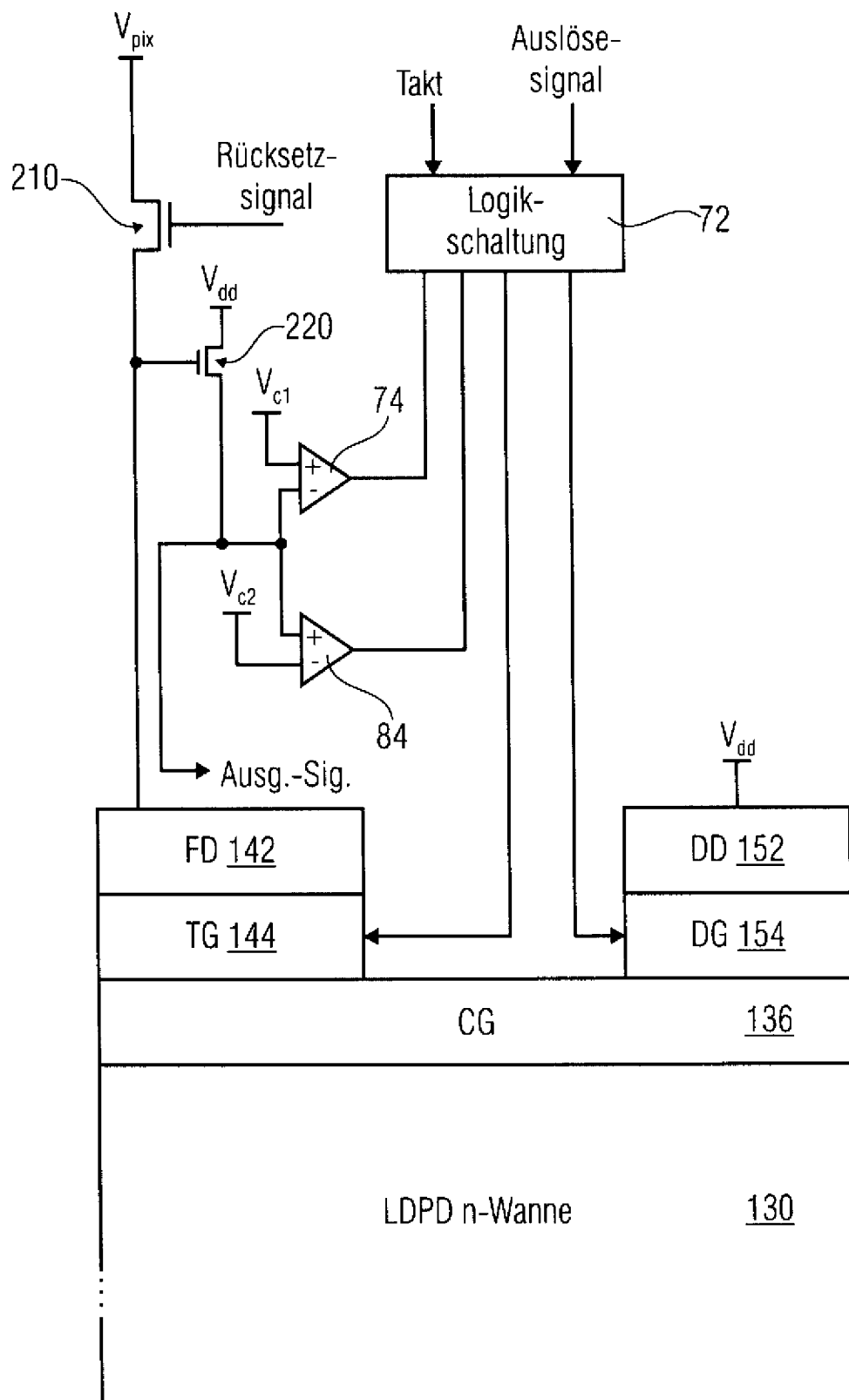


FIG 8

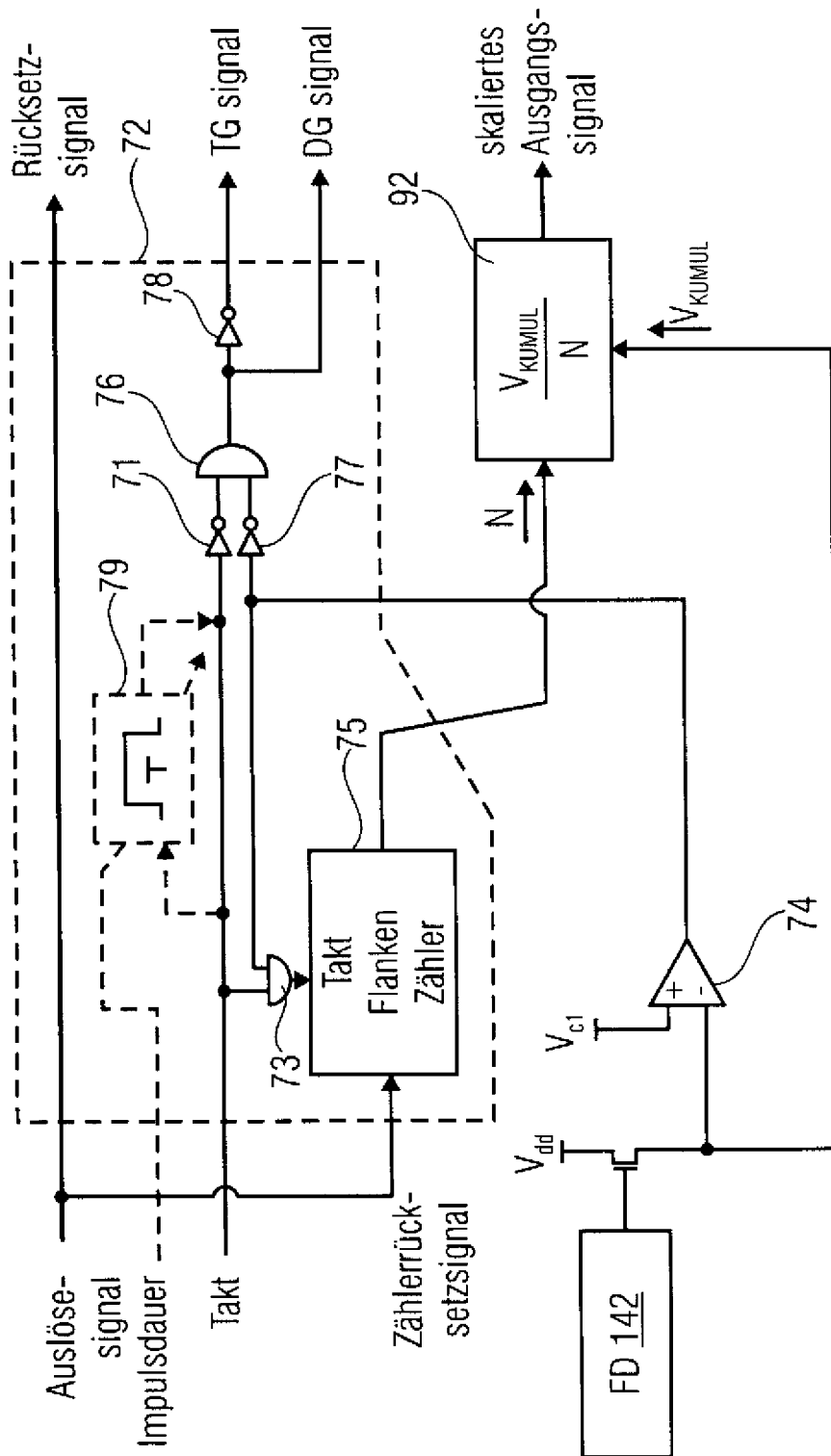


FIG 9

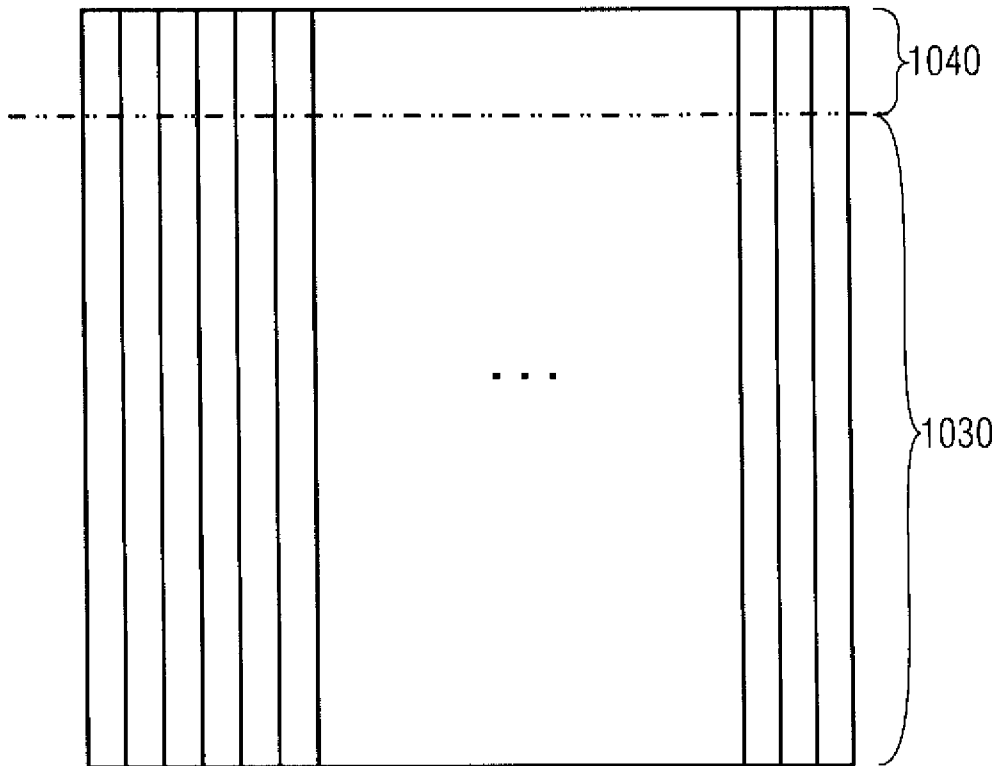


FIG 10

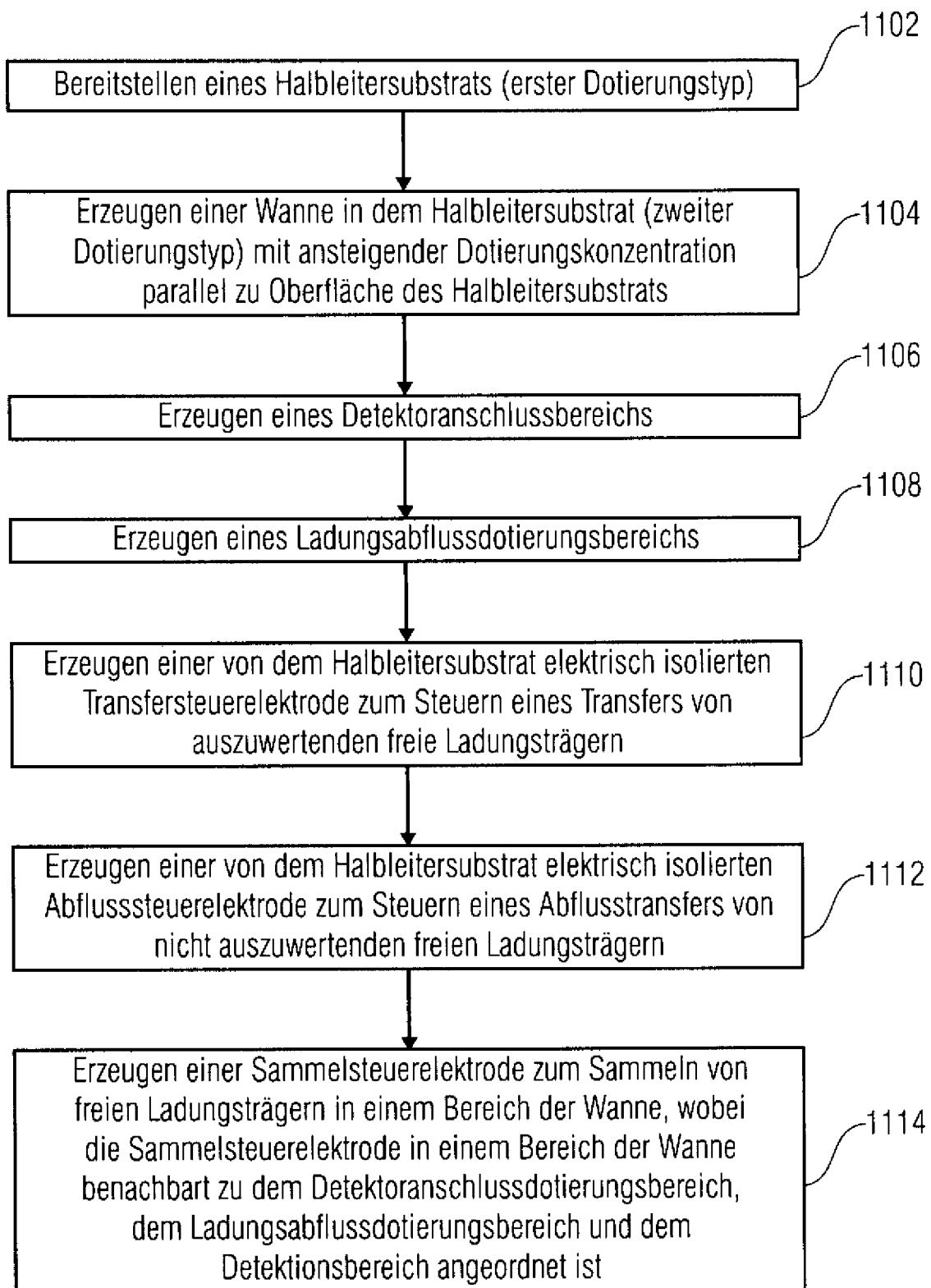


FIG 11

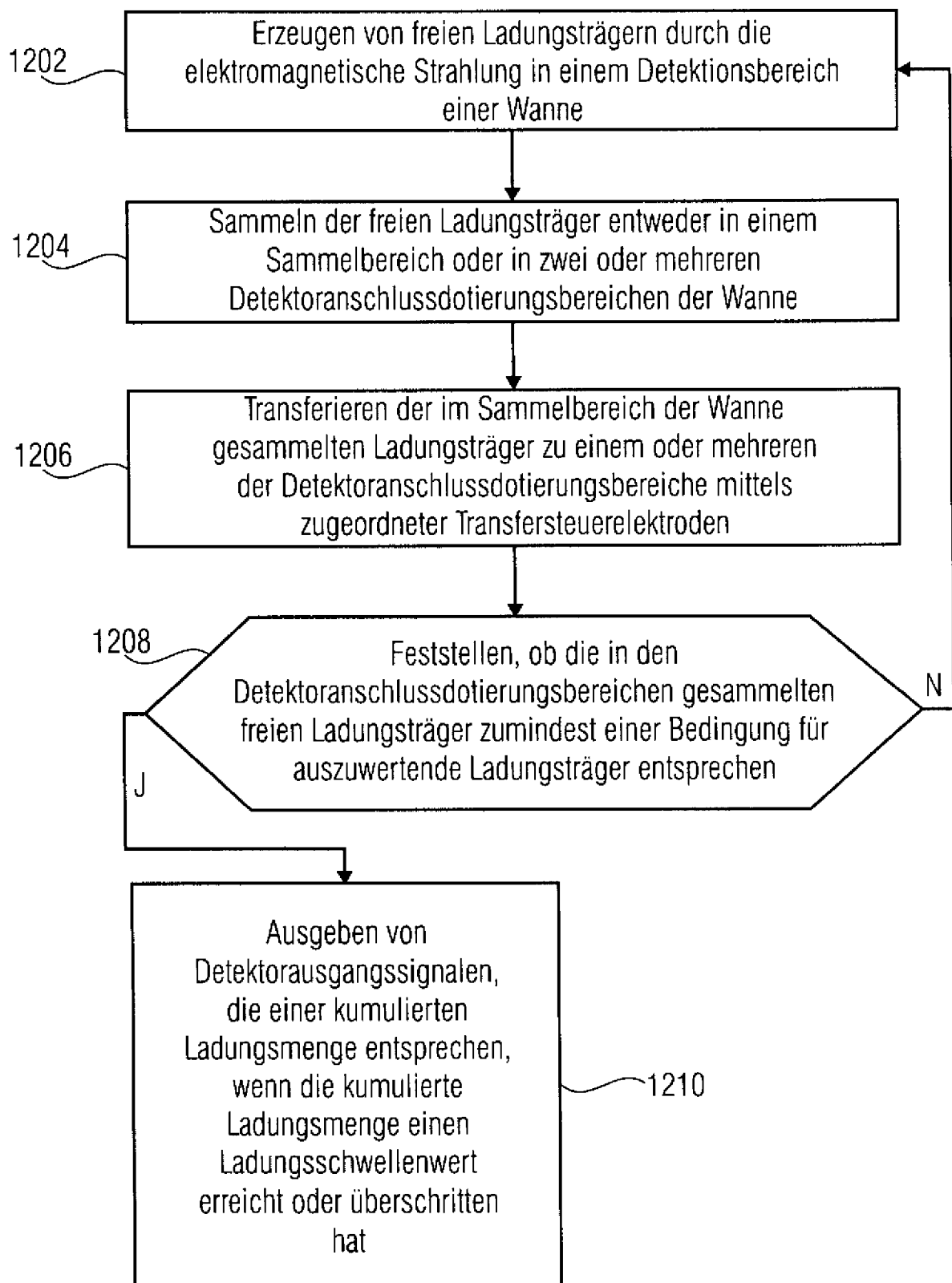


FIG 12