



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2005 054 146 B4 2009.03.26**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 054 146.1**  
 (22) Anmeldetag: **14.11.2005**  
 (43) Offenlegungstag: **24.05.2007**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **26.03.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01J 31/50 (2006.01)**  
**H01L 27/146 (2006.01)**  
**G02B 23/12 (2006.01)**

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:

**Marchanka, Valery M., Dr.-Ing., 64287 Darmstadt, DE; Purwins, Hans-Georg, Dr.Phys. Prof., 48151 Münster, DE**

(72) Erfinder:

**gleich Patentinhaber**

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

**US 49 14 296 A**

**US 49 06 897 A**

**US 57 03 363 A**

**Willebrand, H., Yu, Astrov [u.a.]: "An Effective Infrared-Visible Conversion Technique for Remote Quantitative Measurements of Thermal Fields". Infrared Phys. Technol. 36, 809-817 (1995); L. Postel, Y u. Astrov [u.a.]: "High Speed Conversion of Infrared Images with a Planar Gas Discharge System". J. Appl. Phys. 85, 3960-3965 (1999);**

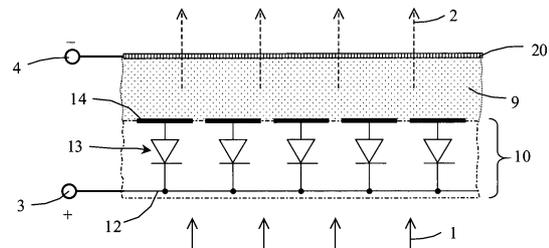
(54) Bezeichnung: **Bildkonverter zur Umwandlung des Spektrums eines optischen Bildes**

(57) Hauptanspruch: Bildkonverter zur Umwandlung des Spektrums eines optischen Bildes, bestehend aus:

- einem Bildsensor (10), auf dessen Vorderseite ein Eingangsbild (1) projiziert wird und der mit einem ersten Versorgungsspannungsanschluss (3) verbunden ist;
- einer für das Ausgangsbild (2) transparenten Elektrode (20), die in kleiner Entfernung von der Gegenseite des Bildsensors (10) platziert ist und mit einem zweiten Versorgungsspannungsanschluss (4) verbunden ist;
- einer dünnen Gasschicht (9) zwischen dem Bildsensor (10) und der transparenten Elektrode (20);

wobei in der Gasschicht (9) bei der Anlegung einer Spannung an die Versorgungsspannungsanschlüsse (3, 4) eine Gasentladung gezündet wird, wodurch ein Ausgangsbild (2) entsteht, dadurch gekennzeichnet,

dass der Bildsensor (10) aus einer Vielzahl von Photodioden (13) besteht, die im Sperrbetrieb arbeiten, wobei sämtliche Photodioden (13) einen gemeinsamen ersten Anschluss (12) haben, der mit dem ersten Versorgungsspannungsanschluss (3) verknüpft ist, die zweiten Anschlüsse (14) der Photodioden (13) unverbunden sind, sich auf...



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein Vorrichtungen zur Umwandlung des Spektrums von zweidimensionalen optischen Bildern gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie bezieht sich insbesondere auf Vorrichtungen zur schnellen Konversion von infraroten (IR) und ultravioletten (UV) Bildern in Bilder im Sichtbaren und/oder nahen Infraroten (NIR).

**[0002]** Man kennt schon Systeme zur Umwandlung eines IR-Bildes in ein Bild im sichtbaren oder NIR-Bereich, die für die Nachtsicht und die Sicht bei schwierigen atmosphärischen Bedingungen verwendet werden können. Die in der Patentschrift DE 693 19 964 T2 beschriebenen Systeme z. B. umfassen: Lichteintrittseinrichtungen; Lichtaustrittseinrichtungen; einen IR-Detektor, auf dem mittels der Lichteintrittseinrichtungen ein IR-Bild abgebildet wird; eine Verarbeitungsschaltung der durch den Detektor gelieferten Signale; sowie eine im Bereich des sichtbaren Lichtes arbeitende Emissionsquelle, welche das genannte einfallende IR-Bild mittels der Lichtaustrittseinrichtungen aufgrund der durch die Verarbeitungsschaltung gelieferten Signale im Sichtbaren aussendet. Dabei können einige oder sämtliche Systemteile auf einem Halbleitersubstrat integriert sein. Generell zeichnen sich diese bekannten Vorrichtungen zur Umwandlung eines IR-Bildes in ein Bild im sichtbaren oder NIR-Bereich durch Komplexität und große Abmessungen aus.

**[0003]** Es ist aus der US 4 914 296 A auch ein IR-Konverter zur Konversion von IR-Bildern in sichtbare Bilder oder in einen Elektronenstrahl bekannt. Das Hauptbauteil der Vorrichtung ist ein IR-Matrixsensor, bestehend aus einem IR-transparenten Substrat, einer photoleitenden Schicht, die unter Wirkung einfallender IR-Photonen ihre Widerstandgröße ändert und die auch p-n-Übergänge aufweisen kann, und einer elektronenemittierenden Schicht sowie einigen weiteren Zusatzschichten, welche im Wesentlichen zur Kontaktierung und Befestigung dienen. Außerdem enthält der genannte Konverter eine Anode, die in gewisser Entfernung von der genannten elektronenemittierenden Schicht platziert ist und mit einer Phosphorbeschichtung zur Konversion des im Vakuum erfolgenden Elektronenflusses in ein sichtbares Bild versehen werden kann. Zusätzlich kann die Vorrichtung einen Elektronenmultiplier enthalten, der eine Vermehrung der aus der elektronenemittierenden Schicht ausgelösten Elektronen erlaubt. Die wesentlichen Nachteile dieser Vorrichtung sind große Komplexität des Aufbaus und der Technologie sowie die Forderung eines sehr hohen spezifischen Widerstandes an das Material der photoleitenden Schicht.

**[0004]** Aus der US 4 906 897 A ist ein weiterer IR-Konverter bekannt, bei dem die von einem

Bildsensor emittierten Photoelektronen im Vakuum zu einer mit einer Phosphorbeschichtung versehenen Anode beschleunigt werden. Bestandteil des Bildsensors ist dort ein Halbleitersubstrat, auf dem eine Vielzahl von Photodioden ausgebildet ist.

**[0005]** Außerdem sind Vorrichtungen zur schnellen Konversion zweidimensionaler IR-Strahlungsfelder in ein sichtbares Bild bekannt, die auf einer planaren Gasentladungsstruktur basieren. Eine typische in [Fig. 1A](#) skizzierte Vorrichtung solcher Art besteht aus: einem Bildsensor **10** in der Form eines IR-empfindlichen Halbleiterwafers **11**, auf dessen Vorderseite das IR-Bild **1** projiziert wird; einer transparenten Elektrode **20**, die in kleiner Entfernung von der Gegenseite des Halbleiterwafers **11** angeordnet ist; und einer dünnen Gasschicht **9** zwischen dem Bildsensor **10** und der transparenten Elektrode **20**. Die Vorderseite des Bildsensors **10** ist mit einem IR-transparenten Flächenkontakt **12** versehen. Die transparente Elektrode **20** besitzt üblicherweise ein Ausgangsfenster **21** mit einem für das Ausgangsbild transparenten Schichtkontakt **22** auf der zur Gasschicht gewandten Seite. Dabei wird an die Schichtkontakte **12** und **22** über die Versorgungsspannungsanschlüsse **3** und **4** eine Versorgungsspannung  $U_V$  angelegt, so dass in dem Gasspalt **9** eine Gasentladung zünden kann. Bei der Abbildung eines IR-Bildes **1** auf den Halbleiterwafer **11** wird dessen Leitfähigkeit entsprechend der IR-Intensitätsverteilung zeitlich und räumlich zweidimensional moduliert, was sich in der Stromdichte- und Helligkeitsverteilung der Gasentladung widerspiegelt und was ein Ausgangsbild **2** im Sichtbaren liefert. [Fig. 1B](#) zeigt exemplarisch Strom-Spannungs-Charakteristiken für die Gasentladung (Kurve  $I_G$ ) mit einer Zündspannung  $U_Z$  und für den Halbleiterwafer (Geraden  $I_{H0}$ ,  $I_{H1}$  und  $I_{H2}$ ) bei drei unterschiedlichen Intensitäten der einfallenden IR-Strahlung  $\Phi_{IR} = 0$ ,  $\Phi_1 > 0$  und  $\Phi_2 > \Phi_1$  des IR-Bildes. Die lokale Stromgröße, welche sich aus den Arbeitspunkten der [Fig. 1B](#) ergibt, und damit auch die lokale Helligkeit des Ausgangsbildes, sind proportional zur Steigung der Halbleiter-Charakteristik und diese ist wiederum proportional zur lokalen Intensität des einfallenden Bildes. Bei  $\Phi_{IR} = 0$  gibt es einen Dunkelstrom  $I_0$ , der durch den Dunkelwiderstand des Halbleiterwafers und die Versorgungsspannung  $U_V$  bestimmt wird.

**[0006]** Für weitere Informationen bezüglich dieser Vorrichtungen, von denen der Oberbegriff des Anspruchs 1 ausgeht, kann auf folgende Dokumente hingewiesen werden:

- (1) Yu. A. Astrov, V. V. Egorov, Sh. S. Kasimov, V. M. Murugov, L. G. Paritskii, S. M. Rivkin, Yu. N. Shermet'ev, "New photographic system for exploration laser radiation characteristics", Quantum Electronics 4, No 8, 1681–1685 (1977).
- (2) Willebrand, H., Yu. Astrov, L. Portsel, S. Teperick, H. Gauselmann, "An Effective Infrared-Visible Con-

version Technique for Remote Quantitative Measurements of Thermal Fields", *Infrared Phys. Technol.* 36, 809–817 (1995).

(3) L. Portsel, Yu. Astrov, I. Reimann, E. Ammelt, H.-G. Purwins, "High Speed Conversion of Infrared Images with a Planar Gas Discharge System", *J. Appl. Phys.* 85, 3960–3965 (1999).

**[0007]** Diese bekannten Vorrichtungen zur schnellen Konversion zweidimensionaler IR-Strahlungsfelder in Bilder im Sichtbaren zeichnen sich hauptsächlich durch einfachen Aufbau und große Konversionsgeschwindigkeit aus, die auf der Mikro- und Submikrosekundenzeitskala liegen kann. Der größte Nachteil solcher Vorrichtungen liegt in der Anforderung an den photoempfindlichen Halbleiterwafer, einen sehr hohen spezifischen Widerstand zu besitzen, damit der Dunkelstrom und das damit verbundene Rauschen möglichst niedrig gehalten werden. Nach Angaben in der Literatur liegen übliche Werte von in solchen Vorrichtungen verwendeten Materialien im Bereich  $10^7$ – $10^{10}$  Ohm·cm, was in den Bereich von Halbisolatoren reicht. Dadurch ist die Wahl von photoempfindlichen Materialien, die sich für die Herstellung von photoempfindlichen Halbleiterwafern für diese Vorrichtungen eignen, sehr eingeschränkt und es kommen nur einige Halbleiter mit extrinsischer Photoleitfähigkeit, wie z. B. Si:Zn, Si:Pt, Si:In, Si:Fe, GaAs:Cr in Frage. Dabei benötigen viele von ihnen, unter den Genannten alle außer GaAs:Cr, eine Abkühlung bis hinunter zu 80–100 K, um hohen Widerstand und genügend kleinen Dunkelstrom zu erreichen. Da zudem solche Materialien eine relativ niedrige Empfindlichkeit aufweisen, ist man gezwungen, die photoempfindliche Elektrode ziemlich dick (häufig bis zu 1.5 mm) zu machen, was eine negative Auswirkung auf die räumliche Auflösung nach sich zieht. Darüber hinaus ist es zum Erreichen einer hohen Empfindlichkeit notwendig, die Versorgungsspannung erheblich, etwa 2 bis 10 mal höher als die Durchbruchspannung des Gasspaltes, zu wählen, was jedoch eine wesentliche Verkomplizierung des Aufbaus und einen erhöhten Dunkelstrom zur Folge hat.

**[0008]** Das Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, die bei den oben beschriebenen Vorrichtungen auf der Basis einer planaren Gasentladungsstruktur auftretenden Probleme zu lösen und zu ermöglichen, einen Bildkonverter zur Umwandlung des Spektrums von optischen Bildern, insbesondere aus dem IR- oder UV-Bereich in den Bereich des Sichtbaren und/oder nahen Infraroten, zu bauen, in dem gut entwickelte niederohmige photoempfindliche Halbleitermaterialien benutzt werden können und der dadurch potentiell bessere Empfindlichkeits-, Schnelligkeits- und räumliche Auflösungscharakteristiken aufweist.

**[0009]** Um dieses Ziel zu erreichen, umfasst der erfindungsgemäße Bildkonverter:

- einen Bildsensor, auf dessen Vorderseite ein Eingangsbild projiziert wird und der mit einem ersten Versorgungsspannungsanschluss verbunden ist;
- eine für das Ausgangsbild transparente Elektrode, die in kleiner Entfernung von der Gegenseite des Bildsensors platziert ist und mit einem zweiten Versorgungsspannungsanschluss verbunden ist;
- eine dünne Gasschicht zwischen dem Bildsensor und der transparenten Elektrode;

wobei in der Gasschicht bei dem Anlegen einer Spannung an die Versorgungsspannungsanschlüsse eine Gasentladung gezündet wird, wodurch ein Ausgangsbild entsteht;

dabei ist dieser Bildkonverter dadurch gekennzeichnet, dass der Bildsensor aus einer Vielzahl von Photodioden besteht, die im Sperrbetrieb arbeiten, wobei sämtliche Photodioden einen gemeinsamen ersten Anschluss besitzen, der mit dem ersten Versorgungsspannungsanschluss verknüpft ist, die zweiten Anschlüsse der Photodioden unverbunden sind, sich auf der Gegenseite des Bildsensors befinden und in Kontakt mit dem Gas stehen.

**[0010]** Ein wesentliches Charakteristikum der vorliegenden Erfindung beruht also auf der Verwendung einer Vielzahl von Photodioden als Bildsensor, die in Sperrrichtung gepolt sind und dadurch einen niedrigen Dunkelstrom garantieren. Dabei muss die Forderung des hohen spezifischen Widerstandes des photoempfindlichen Materials des Bildsensors nicht mehr erfüllt werden, so dass man gut erprobte Halbleitermaterialien mit hoher Empfindlichkeit im erforderlichen Spektralbereich anwenden kann. Außer der erhöhten Empfindlichkeit ist auch eine Verbesserung des raum-zeitlichen Auflösungsvermögens und eine Verringerung der nötigen Speisespannung zu erwarten. (Bezüglich Details siehe die Beschreibung von beispielhaften Ausführungen der Erfindung unten.)

**[0011]** Prinzipiell lässt die Erfindung die Anwendung aller bekannten Typen von Photodioden. Allerdings kann wegen der Unterschiede in der Entwicklung von Photodioden-Detektoren für unterschiedliche Spektralbereiche der eine oder andere Photodiodentyp vorteilhafter sein. So sind für den sichtbaren, den UV- sowie den NIR-Spektralbereich hochempfindliche und schnelle p-i-n- und Lawinen-Photodioden heutzutage sehr gut entwickelt – sie müssen bei einer gewerblichen Implementierung der Erfindung für diese spektrale Bereiche als erste in Betracht gezogen werden. Unter deren Vorzügen ist auch eine erhöhte maximale Rückspannung, insbesondere bei Lawinen-Photodioden, zu betonen. Das vereinfacht die Arbeit mit der Vorrichtung und macht diese zuverlässiger. Lawinen-Photodioden bieten zudem den weiteren wesentlichen Vorteil einer zusätzlichen Verstär-

kung des Photosignals direkt im Bildsensor, was das Erreichen größeren Signal-Rauschverhältnisses ermöglicht. Aus dem Gesagten ergeben sich also zwei vorteilhafte Ausführungsarten der Erfindung: Gemäß der einen dieser speziellen Ausführungsarten des erfindungsgemäßen Bildkonverters werden als Photodioden p-i-n-Photodioden eingesetzt, bei der anderen sind es Lawinen-Photodioden.

**[0012]** Die Erfindung setzt keine prinzipiellen Einschränkungen in Bezug auf Bauweise und Herstellungstechnologie des Bildkonverters voraus. Besonders vorteilhafte Implementierungsarten der Erfindung bieten sich durch Anwendung von Verfahren der modernen Planar-Mikrotechnik an, da auf diese Weise ein besonders kompaktes Design des Bildsensors und folglich der ganzen Vorrichtung erreichbar ist.

**[0013]** Entsprechend dem vorher Gesagten ergibt sich eine besondere Ausführungsart des erfindungsgemäßen Bildkonverters dahin gehend, dass sämtliche Photodioden des Bildsensors auf einem für die einkommende Strahlung transparenten Substrat mittels Planartechnologie integriert sind. Das heißt, dass die eigentlichen Photodioden innerhalb einer oder (üblicherweise) mehrerer monolithischen dünnen Schicht/-en auf einem Substrat und/oder in der oberflächennahen Schicht dieses Substrates durch Planartechnik-Verfahren wie etwa Diffusions-, Epitaxie-, Lithografie-Technik etc. realisiert sind. Einige der möglichen bevorzugten Ausführungsarten, die sich mittels moderner Planar-Mikrotechnik realisieren lassen, werden mit Hilfe von den später gezeigten und beschriebenen Abbildungen exemplarisch demonstriert.

**[0014]** Eine besonders einfache Ausführungsgeometrie des Bildsensors ist mit einer Planartechnologie dann zu erreichen, wenn das Substrat, auf dem alle nötigen monolithischen Schichten zum Bilden der Photodioden aufgebracht sind, nicht nur transparent, wie es oben schon gefordert wurde, sondern auch elektrisch leitend ist. Dabei dient ein solches Substrat sowohl als Trägerplatte für die Photodioden als auch als deren erster gemeinsamer elektrischer Anschluss, der eines der kennzeichnenden Merkmale der Erfindung ist. Auf diese Weise werden individuelle Leitungen überflüssig.

**[0015]** Die im Gasspalt bei der Anlegung einer Hochspannung entstehende Gasentladung kann unter Umständen ziemlich starke Emissionslinien im Empfindlichkeitsbereich der Photodioden aufweisen. Dadurch kann eine positive optische Kopplung von der leuchtenden Gasschicht auf die Photodioden erfolgen, was zu Einschwingprozessen oder gar zur Bistabilität führen kann. Zur Vermeidung dieses möglichen negativen Effektes kann eine Ausführungsart der Erfindung dienen, in der der zweite Anschluss je-

der Photodiode eine für die einfallende Strahlung nichttransparente Schichtkontakt, am einfachsten einer Metallschicht, aufweist. Darüber hinaus wird eine solche Metallschicht durch Rückreflexion der in Photodioden nicht absorbierten Eingangsstrahlung zur Erhöhung der Empfindlichkeit beitragen.

**[0016]** Im Folgenden werden noch einige weitere Ausführungsarten der vorliegenden Erfindung aufgeführt sein, bei denen die Verbesserung der einen oder der anderen Charakteristika des Bildkonverters durch Modifikationen der Gasschicht und der transparenten Elektrode erreicht wird.

**[0017]** Bei einer dieser weiteren besonderen Ausführungsarten des Bildkonverters ist in der Gasschicht eine Mikrokapillarplatte (MKP) aus einem dielektrischen Material eingesetzt, die zur Strukturierung der Gasschicht dient. Dadurch wird laterale Diffusion sowohl von angeregten Gasteilchen, Elektronen und Ionen als auch die Verbreitung der Resonanzstrahlung unterdrückt bzw. verringert, was eine höhere räumliche Auflösung der Konversion ermöglicht. Es wird in der vorliegenden Erfindung prinzipiell keine bestimmte Festsetzung betreffs der Form und der Anordnung von Kanälen der Mikrokapillarplatte sowie deren Zuordnung zu den Photodioden verlangt. Bei einer bevorzugten Ausführung ist jeder Photodiode ein Mikrokanal der Mikrokapillarplatte zugeordnet.

**[0018]** Bei einer weiteren Ausführungsart der Erfindung stellt die transparente Elektrode eine Fensterscheibe mit einer leitenden Beschichtung auf der zur Gasschicht gewandten Seite dar. Die leitende (und transparente) Beschichtung kann beispielweise aus ITO (Indium-Tin-Oxide) hergestellt sein und darf dann aus einer homogenen Schicht bestehen. Man kann diese Beschichtung auch in Form eines Gitters oder einer Kombination von schmalen Schichtleitungen herstellen – dann kann sie auch aus Metall sein.

**[0019]** In einer weiteren speziellen Ausführungsart der Erfindung ist auf der zur Gasschicht gewandten Seite der transparenten Elektrode eine Lumineszenzschicht aufgebracht, die unter dem Einfluss der Gasentladung leuchtet. Durch eine solche Schicht, die von Elektronen und/oder Ultraviolettstrahlung der Gasentladung angeregt wird, kann unter Umständen einer oder beide der folgenden Vervollkommnungen erzielt werden: 1) Transformation des Spektrums des Ausgangsbildes in den gewünschten sichtbaren Bereich und 2) wesentliche Erhöhung der Ausgangshelligkeit, wenn keine große Geschwindigkeit der Konversion benötigt wird und deswegen möglich ist, langsamere aber hellere Leuchtstoffe zu benutzen.

**[0020]** Schließlich kann im erfindungsgemäßen Bildkonverter die transparente Elektrode aus einer leitenden (bzw. Metall-)Beschichtung der vom

Bildsensor abgewandten Seite der Mikrokapillarplatte bestehen. Bei einer solchen Ausführungsart der Erfindung kann Absorption und Reflexionen der Gasentladungsausstrahlung, die durch ein Fenster verursacht werden können, komplett vermieden werden. Dieser Vorteil ist insbesondere nennenswert bei der direkten Kopplung des erfindungsgemäßen Bildkonverters mit einem Bilddetektor wie etwa CCD- oder CMOS-Sensoren. Auf diese Weise kommt man ohne zusätzliche Fenster und weitere Verzerrungen verursachende optische Komponenten zwischen dem Bildkonverter und dem Bildsensor aus.

**[0021]** Es sei in Bezug auf Implementierung der transparenten Elektrode betont, dass die Erfindung diesbezüglich keine Einschränkungen macht und dass außer den oben vorgestellten auch andere Ausführungsarten und -varianten unter Umständen vorteilhaft sein können. Um nur einige davon zu nennen, kann die transparente Elektrode z. B. in Form einer (auf einem Rahmen gespannten) Maschenelektrode realisiert werden, ohne dabei eine Trägerfensterscheibe zu benötigen. Oder die Fensterscheibe, die als Träger einer Schichtenelektrode dient, kann eine faseroptische Scheibe oder einen faseroptischen Taper darstellen. Das ermöglicht eine direkte Kopplung mit Bildfassungskameras, die einen faseroptischen Eingang besitzen, und somit das Erreichen einer wesentlich größeren Kopplungseffizienz.

**[0022]** Die transparente Elektrode funktioniert entweder als Kathode oder als Anode der Gasentladungsschicht – die erforderliche Polung wird durch die Voraussetzung bestimmt, dass die Photodioden im Sperrbetrieb arbeiten müssen. Als Gegenelektrode der Gasentladungsschicht dienen dabei die zweiten, im Kontakt mit der Gasschicht stehenden Anschlüsse der Photodioden des Bildsensors. Wie schon angemerkt wurde, ist der Bildkonverter im Townsend-Modus der Gasentladung zu betreiben, da dadurch eine lineare und stabile Konversion im großen dynamischen Bereich erreicht wird. Eine wesentliche Erweiterung des Strombereiches des Townsend-Regimes eines Gasentladungssystems lässt sich unter Umständen – insbesondere wenn dessen Elektrodenabstand vergleichbar zu oder kleiner als dessen Elektrodenabmessung senkrecht zur Stromrichtung ist – durch Benutzung einer hochohmigen Kathode bzw. einer hochohmigen Beschichtung der Kathode realisieren. Diese vorteilhafte Eigenschaft haben die im Folgenden besprochenen zwei Ausführungsarten des erfindungsgemäßen Bildkonverters.

**[0023]** Bei einer dieser besonderen Ausführungsarten weist die transparente Elektrode eine Widerstandsoberschicht auf und ist als Kathode gepolt. Nach der anderen Ausführung ist dahingegen die transparente Elektrode als Anode gepolt, wobei der zweite, jetzt als Kathode dienende Anschluss der Photodioden eine Widerstandsoberschicht aufweist.

Diese Widerstandsschicht trägt in beiden Fällen zur Stabilisierung der Gasentladung im Townsend-Modus bei, was auch einen größeren dynamischen Bereich der Konversion zur Folge hat. Der Wirkungseffekt einer solchen Widerstandsschicht kann im ersten Falle besonders günstig für ein optimales Funktionieren des Bildkonverters sein, da die transparente Elektrode in ihren Abmessungen wesentlich größer als der zweite Anschluss der Photodioden ist. Physikalisch gesehen besteht die Wirkung der Widerstandsoberschicht darin, dass der Gasentladungsstrom an dieser einen (räumlich ausgedehnten) Spannungsabfall verursacht. Folglich wird die Entstehung starker lokaler Stromdichten unterdrückt und der Strom jeder Photodiode verteilt sich über den Querschnitt des entsprechenden angrenzenden Bereichs der Gasentladungsschicht im wesentlichen homogen. Das erbringt eine angemessene Erhöhung der oberen Stromgrenze des Townsend-Modus der Gasentladung.

**[0024]** Es ist darauf aufmerksam zu machen, dass die Erfindung prinzipiell beliebige Gase und Gasgemische zum Einsatz im Gasspalt zulässt. Die Wahl eines optimalen Gases bzw. Gasgemisches soll generell eine Vielzahl erforderlicher/erwünschter Charakteristiken in Betracht ziehen. Dabei ist zu denken an: die Strom-Licht-Konversionseffizienz, den Spektralbereich des Leuchtens, die Schnelligkeit der Konversion, die Durchbruchspannung etc. Bei Anwendung einer Phosphorschicht auf der transparenten Elektrode (nach einer der oben genannten Ausführungsarten) kann es zum Erreichen einer höheren Gesamtkonversionseffizienz des Gas-Phosphor-Systems vorteilhaft sein, eine Gasart mit starken UV-Emissionslinien und einen dementsprechend durch UV-Strahlung effektiv erregbaren Phosphortyp zu wählen, wie es zum gleichen Zweck in Plasmen-Display-Panelen gemacht wird. Hierauf soll im Weiteren nicht eingegangen werden, denn der Fachmann besitzt solche Kenntnisse.

**[0025]** Die beschriebenen Merkmale und Ausführungsformen der Erfindung werden mit Hilfe der folgenden schematischen Abbildungen und der weiteren Beschreibung dargestellt.

**[0026]** [Fig. 1A](#) zeigt einen Querschnitt eines herkömmlichen und meistens im Infraroten Spektralbereich zum Einsatz kommenden Bildkonverters auf der Basis einer planaren Gasentladungsstruktur mit einem hochohmigen Volumenhalbleiterwafer. In [Fig. 1B](#) werden mit Hilfe von Kennlinien der Gasentladung und des Halbleiterwafers das Arbeitsprinzip und einige Mängel eines solchen Bildkonverters verständlich gemacht.

**[0027]** [Fig. 2A](#) ist eine verallgemeinerte Darstellung des erfindungsgemäßen Bildkonverters. [Fig. 2B](#) zeigt anschaulich Strom-Spannungskennlinien der

Gasentladung und der Photodioden in einem solchen Bildkonverter.

[0028] [Fig. 3A](#) ist eine schematische und partielle Schnittansicht einer möglichen Ausführungsart des erfindungsgemäßen Bildkonverters. [Fig. 3B](#) ist eine Aufsicht auf den Bildsensor des in [Fig. 3B](#) skizzierten Konverters von der Seite der Gasschicht aus.

[0029] [Fig. 4A](#) zeigt schematisch und partiell eine Schnittansicht des erfindungsgemäßen Bildkonverters, in dem die Gasschicht mit Hilfe einer Mikrokapillarplatte strukturiert ist, wobei die transparente Elektrode als Metallbeschichtung der vom Bildsensor abgewandten Seite der Mikrokapillarplatte ausgeführt ist. [Fig. 4B](#) präsentiert eine der möglichen Topologien von Kanälen der MKP in einem derartigen Bildkonverter.

[0030] Es sei angemerkt, dass aus zeichentechnischen Gründen alle Zeichnungen schematisch und absichtlich nicht maßstäblich gemacht sind, wodurch einige Abmessungen stark verzerrt wurden. Darüber hinaus sind allgemein bekannte und zum Verständnis des Erfindungswesens im wesentlichen unrelevante Bauteile bzw. Merkmale, wie etwa Gehäuse, Befestigungselemente, elektrische Durchführungen, unter Umständen nötige Kühlungselemente etc. aus Gründen der zeichnerischen Vereinfachung nicht gezeigt und werden im weiteren auch nicht diskutiert.

[0031] Wesentliche Merkmale und Vorteile der Erfindung werden mit Hilfe von [Fig. 2A](#) und [Fig. 2B](#) erläutert. Dabei stellt [Fig. 2A](#) eine schematische und partielle Schnittansicht des verallgemeinerten Aufbaus eines Bildkonverters nach dem Hauptanspruch der Erfindung dar und [Fig. 2B](#) enthält Strom-Spannungskennlinien der Gasentladung und der Bildsensor-Photodioden in diesem. Der Bildkonverter besteht im wesentlichen aus:

- einem Bildsensor **10**, der eine Vielzahl von im Sperrbetrieb arbeitenden Photodioden **13** darstellt und von seiner Vorderseite ein zweidimensionales Eingangsbild **1** erfasst;
- einer transparenten Elektrode **20**, die sich in kleiner Entfernung von der Gegenseite des Bildsensors befindet;
- einer dünnen Gasschicht **9** zwischen der Gegenseite des Bildsensors **10** und der transparenten Elektrode **20**.

[0032] Alle Photodioden **13** des Bildsensors **10** sind an deren ersten elektrischen Anschluss **12** miteinander und mit dem ersten Versorgungsspannungsanschluss **3** verbunden. Der zweite Anschluss **14** jeder Photodiode ist unbeschaltet und so konstruiert, dass er auf der Gegenseite des Bildsensors in elektrischen Kontakt mit dem Gas kommt. Die transparente Elektrode ist an den zweiten Versorgungsspannungsanschluss **4** angeschlossen und ist im gezeigten Bei-

spiel als Kathode gepolt. Wie schon bei der Beschreibung möglicher Ausführungsweisen der transparenten Elektrode angegeben wurde, kann die Kathode zur Erweiterung des Strombereiches des Townsend-Modus der Gasentladung und dadurch zum Erreichen eines größeren dynamischen Bereiches mit einer Widerstandsüberschicht versehen werden. Eine solche Widerstandsschicht ist in [Fig. 2A](#) sowie in weiteren Abbildungen von Ausführungsformen der Erfindung nicht gezeigt und ist einfach als eine Oberbeschichtung der als Kathode dienenden Elektrode bzw. Schicht vorzustellen.

[0033] Die angelegte Speisespannung wird so eingestellt, dass sie etwas über der Gasentladungs-Zündspannung liegt und derartig gepolt ist, dass die Photodioden im Sperrbetrieb arbeiten. [Fig. 2B](#) zeigt, wie dabei Kennlinien der Gasentladung und der Photodioden verlaufen. Kurve  $I_G$  präsentiert eine typische Kennlinie der Gasentladung. Für den Fall, dass die Kathode eine oben erwähnte Widerstandsüberschicht aufweist, zeigt die Kurve  $I_{GW}$  beispielhaft die Kennlinie des Systems „Gasentladung-Widerstandsüberschicht“. Dabei ist unter dem elektrischen Strom  $I_G$  bzw.  $I_{GW}$  derjenige Strom im Gas zu verstehen, der durch den zweiten Anschluss **14** der Photodioden fließt. Kurven  $I_{P0}$ ,  $I_{P1}$  und  $I_{P2}$  sind exemplarische Kennlinien mit verschiedener Intensität  $\Phi_p$  beleuchteter Photodioden. Die Photodiodenkennlinie  $I_{P0}$  ist die Dunkelstromkennlinie. Die Schnittpunkte der Kennlinien der Photodioden mit der Kennlinie der Gasentladung stellen deren Arbeitspunkte dar und liefern Stromwerte (hier  $I_0$ ,  $I_1$  und  $I_2$ ), die durch die entsprechenden Photodioden und die an diesen angrenzten Bereiche der Gasentladungsschicht fließen. Beim Betrieb des Konverters sollen Arbeitspunkte, wie auch bei herkömmlichen Halbleiter-Gasentladungs-Bildkonvertern mit Volumenhalbleiterbildsensoren, am besten im Townsend-Bereich der Gasentladung liegen, wo die Kennlinie der letzteren praktisch parallel zur Stromachse verläuft. Bei dünnen Gasschichten, was beim erfindungsgemäßen Bildkonverter auch der Fall ist, kann sich der senkrechte Teil der Gasentladungs-Kennlinie über bis zu 5 Größenordnungen des Stromes und sogar mehr ausstrecken. Das sorgt für einen entsprechend großen dynamischen Bereich mit linearer Konversion.

[0034] Wie man sehen kann, befinden sich die Photodioden unter der Sperrspannung  $U_V-U_Z$ , wo  $U_V$  die Versorgungsspannung ist und  $U_Z$  der Gasentladungs-Zündspannung entspricht. Dank dem bekannten Fakt, dass Photodioden, mit Ausnahme von Lawinen-Photodioden, sich im Sperrbetrieb schon mit geringen Rückspannungen in den aktiven Arbeitsbereich linearer Licht-Strom-Umwandlung einschalten lassen, muss die erforderliche Versorgungsspannung nur wenig über der Zündspannung der Gasentladung liegen. Diese Eigenschaft zählt zu besonde-

ren Merkmalen der vorliegenden Erfindung. Lawinenphotodioden können zu ihrem optimalen Betrieb eine Sperrvorspannung bis zu etwa 100 V benötigen, was in Hinblick auf typische Gasentladungs-Zündspannungswerte von 150–200 V und höher eine verhältnismäßig niedrige Versorgungsspannungen bedeutet. Darüber hinaus und von besonderer Bedeutung sind jedoch im Vergleich zu Volumenbildsensoren generell wesentlich höhere Empfindlichkeit und Schnelligkeit von Photodioden sowie die Möglichkeit, mit entsprechend kleinflächigen Photodioden eine bessere räumliche Auflösung der Bildkonversion zu erreichen.

**[0035]** Die Leuchtintensität der Gasentladung ist dem Strom proportional und ist räumlich in der Gasschichtebene wie der Strom verteilt. Damit ist sie auch wie die Eingangsintensität verteilt. Dabei wird das Spektrum des Ausgangsbildes durch das Emissionsspektrum des verwendeten Gases sowie dessen mögliche Änderung beim Durchgehen durch die transparenten Elektrode definiert. Für Verwendung im erfindungsgemäßen Bildkonverter sind in erster Linie Gase mit intensiveren Emissionslinien im sichtbaren oder nahen infraroten Bereich bis etwa  $1.0\ \mu\text{m}$  zu empfehlen, da für diesen Bereich auf dem Markt viele hochempfindliche und schnelle Kameras existieren, die zur Erfassung der Ausgangsstrahlung des Konverters eingesetzt werden können.

**[0036]** Es sei betont, dass der in [Fig. 2A](#) dargestellte und oben beschriebene verallgemeinerte Aufbau des erfindungsgemäßen Bildkonverters nur seine wesentlichen Merkmale nach dem Hauptanspruch der Erfindung erschließt. Die weiterfolgende Beschreibung erläutert einige der möglichen gewerblich orientierten Ausführungsarten der Erfindung und deren besondere Eigenschaften.

**[0037]** [Fig. 3A](#) ist eine schematische und partielle Schnittansicht einer anderen Ausführungsart des erfindungsgemäßen Bildkonverters und [Fig. 3B](#) ist eine Aufsicht auf den Bildsensor von der Seite der Gasschicht her. Diese Ausführung besteht im Wesentlichen aus einem Bildsensor **10**, einem Ausgangsfenster **21** mit der leitenden Beschichtung **22** als transparente Elektrode **20**, getrennt durch eine dünne Gasschicht **9** zwischen denen, deren Dicke durch den Abstandhalter **8** determiniert wird. Die Photodioden des Bildsensors sind monolithisch mittels Planartechnologie auf einem für das einfallende Licht transparenten und elektrisch leitenden Trägersubstrat **30** integriert, das als gesamter erster Anschluss der Photodioden dient und durch Schichtkontakt **31** mit dem ersten Versorgungsspannungsanschluss **3** verbunden ist. Die Photodioden sind der Vereinfachung halber schematisch bestehend aus drei Halbleiterschichten **13a**, **13b** und **13c** gezeichnet, was der klassischen Struktur von p-i-n-Photodioden entspricht aber die Möglichkeit nicht ausschließt,

auch andere Photodiodentypen bzw. -Strukturen zur Implementierung des Bildsensors zu benutzen. Die untere, so genannte Buffer-Schicht **13a** weist üblicherweise eine höhere Konzentration von Störstellen auf, die ihr den vorgewählten Leitungstyp verleihen, und ist dazu für die einfallende Strahlung transparent. Die mittlere, so genannte aktive Schicht **13b** hat den gleichen Leitungstyp wie die untere Schicht **13a** und kann generell aus einigen Subschichten bestehen. Bei üblichen p-i-n-Photodioden ist es eine einzelne Absorptionsschicht, die nur leicht- oder undotiert ist (weswegen sie üblicherweise auch als i-Schicht bezeichnet wird) und aus diesem Grunde eine viel geringere Leitfähigkeit – nahe zur eigenen Leitfähigkeit – besitzt. Bei Lawinen-Photodioden umfasst die aktive Schicht **13b** mehrere Schichten – normalerweise eine Absorptionsschicht, eine Multiplikationsschicht (oder eine gemeinsame Absorptions-Multiplikationsschicht) sowie einige Grading-Layers. Die obere Schicht **13c** der Photodioden ist im Vergleich zu den unteren Schichten jedoch von einem umgekehrten Leitungstyp und besitzt gewöhnlich eine erhöhte Konzentration von Störstellen. Bei einigen speziellen Photodioden kann diese Schicht auch aus einigen Subschichten gebildet werden. Bei Schottky-Photodioden ist die obere Schicht eine Metallschicht, die mit dem unterliegenden Halbleiter eine Schottky-Barriere bildet.

**[0038]** Bei der angelegten Versorgungsspannung  $U_V$  oberhalb der Durchbruchspannung  $U_Z$  der Gasschicht **9** befinden sich die Photodioden im Sperrbetrieb mit starkem elektrischem Feld in der aktiven Schicht. Die in der aktiven Schicht **13b** unter Wirkung der einfallenden Strahlung generierten freien Ladungsträger werden dadurch sehr schnell getrennt und entsprechend deren Typ (Elektronen oder Löcher) zu einem der angrenzenden Schichten **13a** bzw. **13c** gebracht und bilden einen photoelektrischen Strom, der einen gleichermaßen Strom durch den anliegenden Bereich der Gasentladung determiniert. Wenn die Photodioden Lawinen-Photodioden sind, wird dieser Photostrom schon in den Photodioden zusätzlich verstärkt.

**[0039]** Die in [Fig. 3A](#) dargestellte Ausführungsart des erfindungsgemäßen Bildkonverters benutzt ein Mesa-Verfahren zur Isolierung der Photodioden von einander. Die Mesa-Gräben **33** sollen sich dabei mindestens durch die ganze obere Schicht **13c** hindurch bis in die aktive Schicht **13b** vertiefen und sind mit einer Isolierschicht **34** versehen, die den Kontakt des p-i-Übergangs und aller unteren Schichten mit der Gasentladung verhindert. Die aktive Schicht **13b** kann dabei im unteren größeren Teil kontinuierlich (durch die Mesa-Gräben ungeteilt) bleiben, da in dieser Schicht ein starkes transversales elektrisches Feld existiert, das die dort photogenerierten Ladungsträger sehr schnell aus der Schicht hinaus führt und dadurch deren laterales Ausbreiten effektiv ver-

hindert. Das Letztere ist zudem dadurch erschwert, dass auf alle Photodioden praktisch die identische Sperrspannung wirkt, die sich an der Differenz von Versorgungsspannung und Zündspannung bestimmt, so dass das laterale elektrische Feld in der aktiven Schicht vernachlässigbar ist. Darüber hinaus sind die lateralen Dimensionen der Photodioden (mit sinnvoller Größe in den meisten Fällen nicht kleiner als 20  $\mu\text{m}$ ) viel größer als die Dicke der aktiven Schicht (ca. 2–3  $\mu\text{m}$ ), was zusammen mit den oben genannten Gründen das Erscheinen einer möglichen lateralen Ausbreitung der Photo-Ladungsträger und der dadurch verursachten Bildverschmierung so gut wie unmöglich macht.

**[0040]** Die auf die obere Schicht **13c** der Photodioden aufgebrachte undurchsichtige Metallschicht **14** dient zur Prävention möglicher optischer positiver Rückwirkung des Leuchtens der Gasentladung auf die Photodioden, was sonst bei einer ungünstig großen Überlappung des Emissionsspektrums des Gases mit der spektralen Empfindlichkeitskurve der Photodioden lange Einschwingprozesse oder Bistabilität verursachen kann. Darüber hinaus trägt diese Schicht zur Empfindlichkeitserhöhung bei, da sie in den Photodioden nicht absorbierte Eingangsstrahlung zurück reflektiert und noch einmal durch die Absorptionsschicht durchgehen lässt. Zur Verringerung von Verlusten der einkommenden Photonen wegen Reflektion von der ersten Seite des Trägersubstrats, ist auf diese eine Antireflexionsschicht **32** aufgebracht.

**[0041]** Zur Herstellung des Bildsensors des in [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) dargestellten Bildkonverters können je nach erforderlichen Charakteristiken diverse dem Fachmann bekannte Materialien und Verfahren verwendet werden, die unter Umständen auch unterschiedliche bevorzugte Strukturen des Bildsensors und der eigentlichen Photodioden bedeuten können. Beispielweise, statt der gezeigten Mesa-Gräben mit der darin befindlichen Isolierschicht darin können zur Isolierung der Photodioden von einander auch andere Verfahren einfacher und vorteilhafter sein. Unter denen sei der Einbau von hochhohlen Bereichen zwischen den Photodioden mit Hilfe einer Ionenimplantation oder einer Protonenbestrahlung als nächstes genannt – diese Technik wird als eine Alternative zum Mesa-Verfahren für viele Materialien und Strukturen immer besser entwickelt und immer mehr anerkannt. Als eines der nach dem jetzigen Stand der Technik gut etablierten Beispielen von Materialkombinationen für den nahen IR-Bereich bis zu 1.7–2.3  $\mu\text{m}$  lässt sich InGaAs für die aktive Absorptionsschicht mit dem IR-transparenten und gut leitenden Trägersubstrat aus n-InP nennen. Die untere Buffer-Schicht besteht dabei auch aus n-InP; die aktive InGaAs-Absorptionsschicht weist sehr niedrige Störstellenkonzentration des n-Typs auf und die beiden Schichten werden durch das Epitaxi-

al-Wachstum erhalten. Die obere Schicht **13c** wird durch Diffusions- oder Ionenimplantations-Verfahren bis zur nötigen Konzentration von Störstellen des p-Typs (üblicherweise Zn-Atomen) dotiert.

**[0042]** Ausführlichere Information über Photodiodenstrukturen sowie Materialien und Verfahren zur deren Herstellung sind in zahlreichen Publikationen zu finden, wie etwa:

(4) P. Norton, "Detector Focal Plane Array Technology." In Encyclopedia of Optical Engineering, 320–348 (2003).

(5) J. C. Dries, T. Martin, W. Huang, M. J. Lange and M. J. Cohen. "Two-dimensional Indium Gallium Arsenide Avalanche Photodiode Arrays for High-Sensitivity, High-Speed Imaging." IEEE LEOS Proceedings (2002).

(6) J. B. Barton, R. F. Cannata, and S. M. Petronio, "InGaAs NIR Focal Plane Arrays for Imaging and DWDM Applications." Proc. SPIE 4721 (2002).

(7) M. A. Itzler, K. K. Loi, S. McCoy, N. Codd, and N. Komaba, "Manufacturable Planar Bulk-InP Avalanche Photodiodes For 10 Gb/s Applications." Proc. LEOS'99, 1999, San Francisco.

(8) L. J. Kozlowki and W. F. Kosonocky, "Infrared Detector Arrays." In Handbook of Optics, Chap. 23, McGraw-Hill: New York, 1995.

**[0043]** Als transparente Elektrode wird im Bildkonverteraufbau nach [Fig. 3A](#) eine leitende und transparente Beschichtung **22** auf dem Ausgangsfenster **21** aufgebracht. Die lässt sich in den meisten Fällen am einfachsten als homogenes ITO-Layer herzustellen. Es kann jedoch auch eine Metallbeschichtung sein, die als solche nicht durchsichtig ist aber die Form eines feinen Gitters hat, wie es schon angemerkt wurde. Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann auf die transparente Elektrode eine Phosphorschicht aufgebracht werden, die in [Fig. 3A](#) nicht gezeigt und einfach als zweite Schicht über die Beschichtung **22** auf dem Ausgangsfenster **21** vorzustellen ist. Solch eine Phosphorschicht, die sich von Elektronen und/oder UV-Ausstrahlung der Gasentladung anregen lässt, kann sowohl zur Transformation des Spektrums als auch zur Verstärkung der Intensität des Ausgangsbildes dienen. Geeignete Verfahren und Materialien zum Erstellen leitender und transparenter Beschichtungen sowie von Phosphorschichten sind unter Spezialisten allgemein gut bekannt.

**[0044]** [Fig. 4A](#) zeigt schematisch und partiell einen erfindungsgemäßen Bildkonverter, in dem die Gas-schicht **9** durch eine Mikrokapillarplatte **23** strukturiert ist und die transparente Elektrode eine Metallbeschichtung **24** der vom Bildsensor **10** abgewandten Seite der Mikrokapillarplatte **23** darstellt. [Fig. 4B](#), die eine schematische und partielle Aufsicht auf die MKP eines derartigen Bildkonverters von der Seite der Metallbeschichtung **24** darstellt, demonstriert eine der möglichen Topologien von Kanälen der MKP in einem

derartigen Bildkonverter.

**[0045]** Ähnlich wie im vorher beschriebenen Bildkonverter in [Fig. 3A](#) sind die Photodioden des Bildsensors bei diesem Aufbau monolithisch mittels Planar-Mesa-Technologie auf einem für die auftretende Strahlung transparenten und antireflexionsbeschichteten Trägesubstrat **30** hergestellt und schematisch bestehend aus drei Schichten **13a**, **13b** und **13c** gezeigt, für deren Funktionen die Beschreibung der entsprechenden Schichten der [Fig. 3A](#) gilt. Es wird jedoch angenommen, dass das Trägesubstrat elektrisch nicht oder schlecht leitend ist und deswegen als gesamter erster Anschluss aller Photodioden nicht dienen kann. Dazu wird die untere Buffer-Schicht **13a** genutzt. Zur Verringerung des Widerstandes dieses Anschlusses, ist in den zur Isolierung der Photodioden dienenden Mesa-Gräben **33**, die speziell bis zur Buffer-Schicht **13a** hinein vertieft sind, eine maschenartige Metalleitung **12** verlegt, die im elektrischen Kontakt mit der Buffer-Schicht **13a** steht und mit dem ersten Versorgungsspannungsanschluss **3** verbunden ist. Zur Prävention der Berührung dieser Metalleitung, der aktiven Schicht **13b** sowie des p-i-Übergangs (der Grenze zwischen den Schichten **13b** und **13c**) mit dem Gas sind die Mesa-Gräben **33** mit Isolierung **34** beschichtet. Wenn die Leitfähigkeit der Buffer-Schicht **13a** hoch genug ist, kann auf diese Metalleitung und Vertiefung der Gräben verzichtet werden, was den Aufbau des Bildsensors vereinfacht.

**[0046]** Bei dem Aufbau in [Fig. 4A](#) ist die transparente Elektrode des erfindungsgemäßen Bildkonverters als Metallbeschichtung **24** der MKP **23** ausgeführt und die Gasentladung besteht aus einer Vielzahl von Mikroentladungen, die in den MKP-Kanälen zwischen dem zweiten Anschluss **14** jeder Photodiode und der Metallbeschichtung **24** gezündet werden. Dadurch besitzt ein derartiger Bildkonverter wichtige zusätzliche Vorzüge. Bei einem genügend kleinen Abstand von den MKP-Kanälen kann eine wesentlich bessere räumliche Auflösung der Bildkonversion erreicht werden, denn die für die Verschmierung von kleinen Bilddetails verantwortlichen Diffusionsvorgänge von Elektronen, angeregten Atomen und/oder Molekülen sowie die Verbreitung der Resonanzstrahlung werden stark gehindert. Das fehlende Ausgangsfenster bringt besondere Vorteile bei direkter Kopplung des Bildkonverters mit einem Bildsensor wie etwa CCD- oder CMOS-Sensoren, da die optische Ausstrahlung der Gasentladung sehr effektiv, ohne Verluste und Reflexionen an Zwischenkomponenten zum angekoppelten Bildsensor übertragen werden kann. Ein solcher Sensor ist in [Fig. 4A](#) schematisch mit **25** bezeichnet. Im Falle eines herkömmlichen optischen Ausgangs wird statt dessen ein Ausgangsfenster benutzt, das auch für einen abgeschlossenen Gasraum sorgt.

**[0047]** Bei gewerblicher Realisierung des Bildkonverters nach dem Aufbau in [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) können sich unterschiedliche Materialien und Herstellungsverfahren eignen, die dem Fachmann gut bekannt sind. So lassen sich z. B. für einen erfindungsgemäßen Bildkonverter, der im ultravioletten Spektralbereich empfindlich ist und im sichtbaren Bereich der Strahlung keine oder sehr geringe Sensitivität aufweisen soll, d. h. solar-blind ist, p-i-n-Photodioden aus AlGaIn auf einem Saphir-Trägersubstrat einsetzen. Für detaillierte Informationen bezüglich Aufbauprinzipien, Zusammensetzung von Materialien, Herstellungstechnologien und erreichbarer Charakteristiken solcher Photodioden kann man folgende Dokumente sowie darin genannte Quellen konsultieren: (9) H. Morkoç, "Nitride Semiconductors and Devices," Springer Verlag, Heidelberg, 1999. (10) J. D. Brown, Jizhong Li, P. Srinivasan, J. Matthews and J. F. Schetzina, "Solar-Blind AlGaIn Heterostructure Photodiodes", MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 5, 9 (2000). (11) N. Biyikli, T. Kartaloglu, O. Aytur, I. Kimukin and E. Ozbay, "High-Performance Solar-Blind AlGaIn Schottky Photodiodes", MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 8, 2 (2003). (12) J. P. Long, S. Varadaraajan, J. Matthews, and J. F. Schetzina, "UV detectors and focal plane array imagers based on AlGaIn p-i-n photodiodes", Opto-Electronics Rev. 10(4), 251–260 (2002). (13) J. C. Carrano, D. J. H. Lambert, C. J. Eiting, C. J. Collins, T. Li, S. Wang, B. Yang, A. L. Beck, R. D. Dupuis, and J. C. Campbell, "GaIn avalanche photodiodes", Appl. Phys. Lett. 76, 924–926 (2000).

**[0048]** Was die Mikrokapillarplatte betrifft, so kann diese zur Zeit sowohl aus Glass als auch aus Polymerfolienmaterialien mittels solchen gut bekannten und industriell etablierten Verfahren wie etwa Ätzen oder Laser-Evaporation separat von den anderen Bauteilen hergestellt werden. Darüber hinaus ist es prinzipiell möglich, die MKP durch eine relativ dicke dielektrische Schicht mit Mikrokanälen zu ersetzen, die mittels Planartechnologie auf das Substrat mit den schon angefertigten Photodioden aufgebracht und entsprechend strukturiert ist.

### Patentansprüche

1. Bildkonverter zur Umwandlung des Spektrums eines optischen Bildes, bestehend aus:
  - einem Bildsensor (**10**), auf dessen Vorderseite ein Eingangsbild (**1**) projiziert wird und der mit einem ersten Versorgungsspannungsanschluss (**3**) verbunden ist;
  - einer für das Ausgangsbild (**2**) transparenten Elektrode (**20**), die in kleiner Entfernung von der Gegenseite des Bildsensors (**10**) platziert ist und mit einem zweiten Versorgungsspannungsanschluss (**4**) verbunden ist;
  - einer dünnen Gasschicht (**9**) zwischen dem

Bildsensor (10) und der transparenten Elektrode (20);

wobei in der Gasschicht (9) bei der Anlegung einer Spannung an die Versorgungsspannungsanschlüsse (3, 4) eine Gasentladung gezündet wird, wodurch ein Ausgangsbild (2) entsteht,

**dadurch gekennzeichnet**, dass der Bildsensor (10) aus einer Vielzahl von Photodioden (13) besteht, die im Sperrbetrieb arbeiten, wobei sämtliche Photodioden (13) einen gemeinsamen ersten Anschluss (12) haben, der mit dem ersten Versorgungsspannungsanschluss (3) verknüpft ist, die zweiten Anschlüsse (14) der Photodioden (13) unverbunden sind, sich auf der Gegenseite des Bildsensors (10) befinden und im Kontakt mit dem Gas stehen.

2. Bildkonverter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Photodioden (13) p-i-n-Photodioden sind.

3. Bildkonverter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Photodioden (13) Lawinen-Photodioden sind.

4. Bildkonverter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Photodioden (13) monolithisch auf einem für die einfallende Strahlung (1) transparenten Substrat (30) mittels Planartechnologie integriert sind.

5. Bildkonverter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das transparente Substrat (30) auch leitend ist und zum Verbinden der ersten elektrischen Anschlüsse (12) der Photodioden (13) mit dem ersten Versorgungsspannungsanschluss (3) genutzt wird.

6. Bildkonverter nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Anschluss (14) jeder Photodiode (13) einen nichttransparenten Schichtkontakt aufweist, der eine mögliche positive Rückwirkung der Gasentladungsausstrahlung auf die Photodioden (13) vermeidet und durch Rückreflexion der in den Photodioden (13) nicht absorbierten Eingangsstrahlung zur Empfindlichkeitserhöhung beiträgt.

7. Bildkonverter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der Gasschicht (9) eine Mikrokapillarplatte (23) aus einem dielektrischen Material eingesetzt ist.

8. Bildkonverter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Photodiode (13) ein Mikrokanal der Mikrokapillarplatte (23) zugeordnet ist.

9. Bildkonverter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die transparente Elektrode (20) eine Fensterscheibe (21) mit einer lei-

tenden Beschichtung (22) auf der zur Gasschicht (9) gewandten Seite darstellt.

10. Bildkonverter nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die transparente Elektrode (20) eine Beschichtung (24) der vom Bildsensor (10) abgewandten Seite der Mikrokapillarplatte (23) darstellt.

11. Bildkonverter nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die transparente Elektrode (20) als Kathode gepolt ist und eine Widerstandsoberschicht aufweist, die der Stabilisierung der Gasentladung dient und dadurch einen größeren dynamischen Bereich der Konversion erlaubt.

12. Bildkonverter nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die transparente Elektrode (20) als Anode gepolt ist und der zweite Anschluss (14) der Photodioden (13) eine Widerstandsoberschicht aufweist, die zur Stabilisierung der Gasentladung beiträgt und dadurch einen größeren dynamischen Bereich der Konversion ermöglicht.

13. Bildkonverter nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass auf die zur Gasschicht (9) gewandten Seite der transparenten Elektrode (20) eine Lumineszenzschicht aufgebracht ist, die unter Wirkung der Gasentladung leuchtet.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

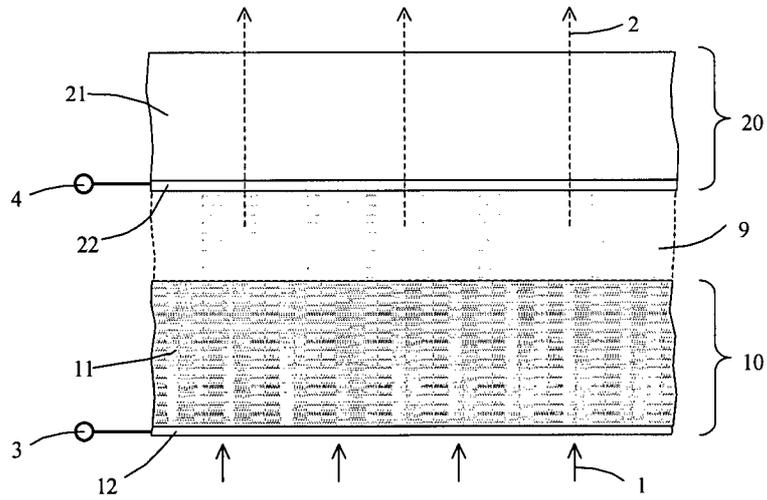


FIG. 1A (Stand der Technik)

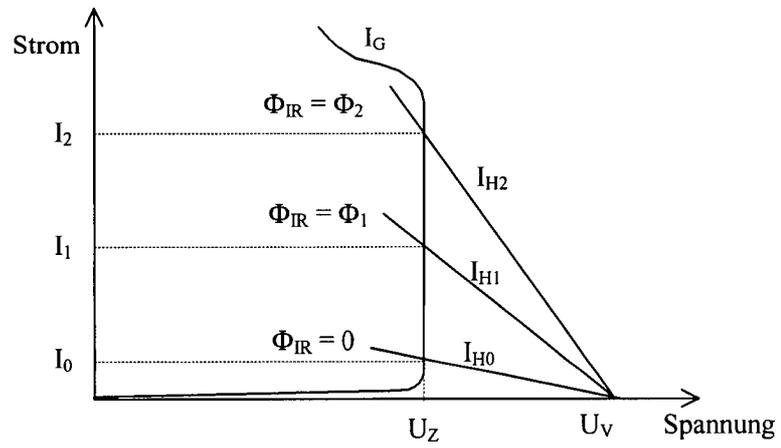


FIG. 1B (Stand der Technik)

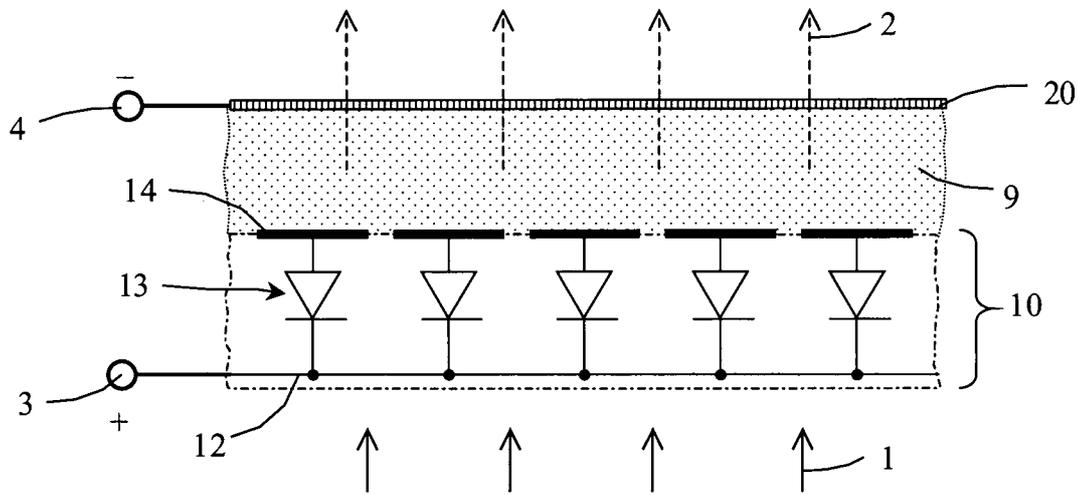


FIG. 2A

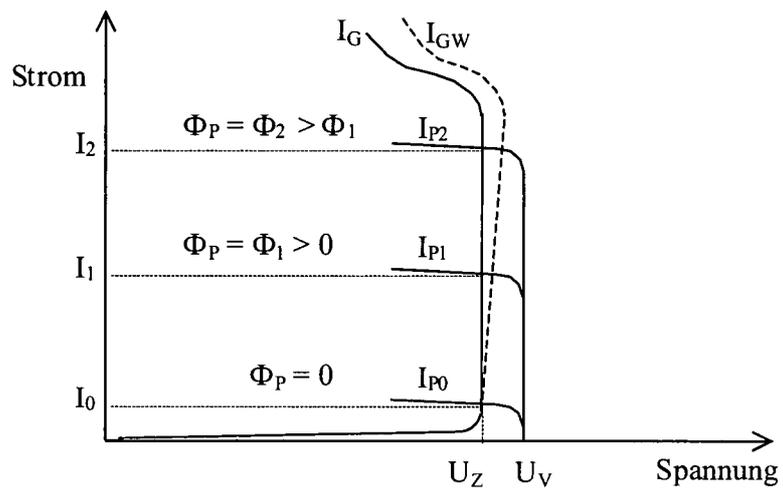


FIG. 2B

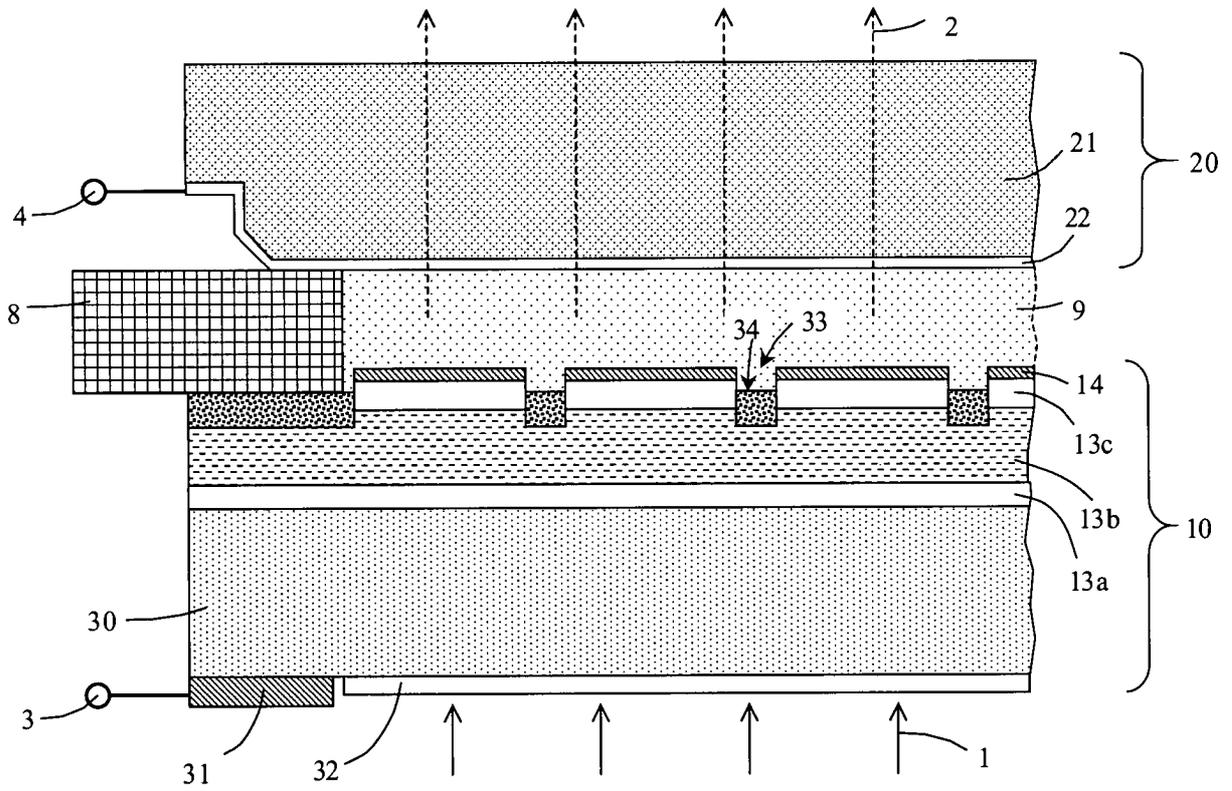


FIG. 3A

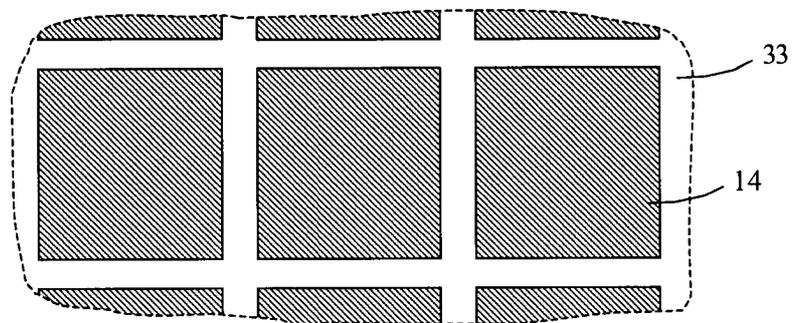


FIG. 3B

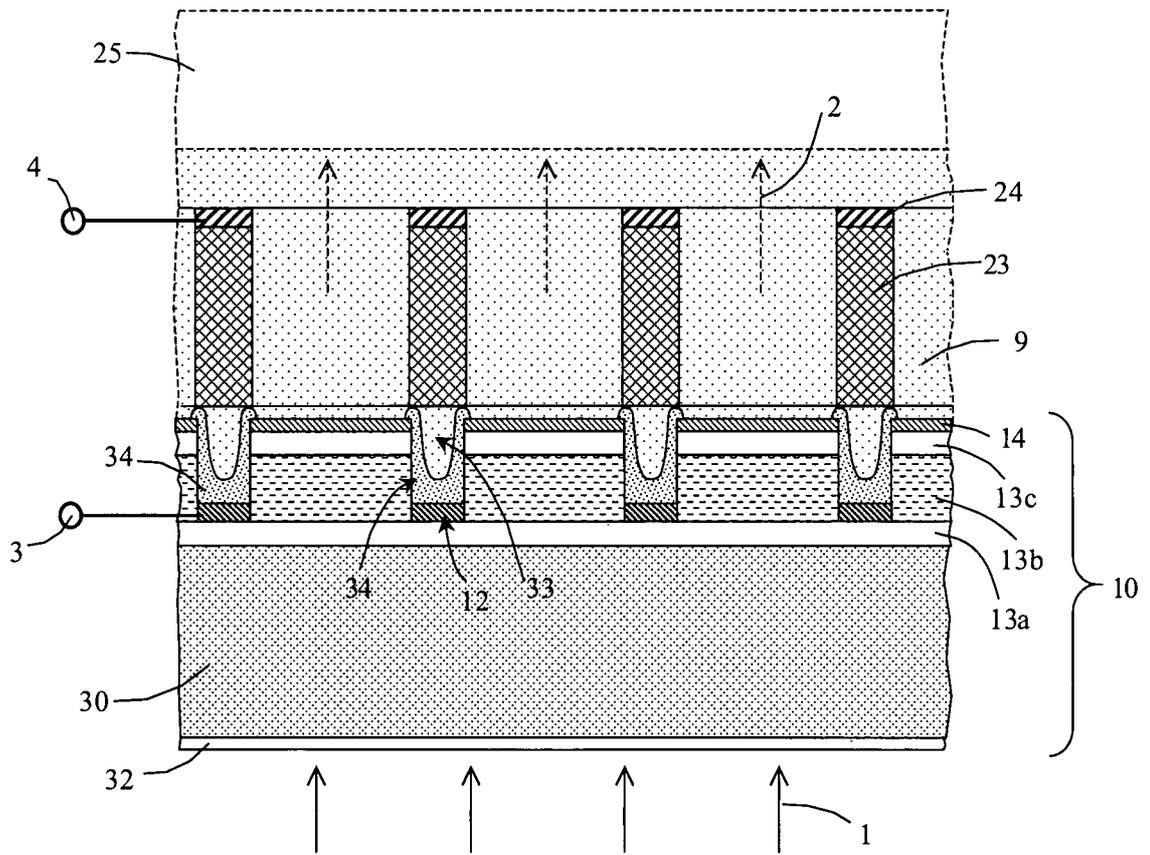


FIG. 4A

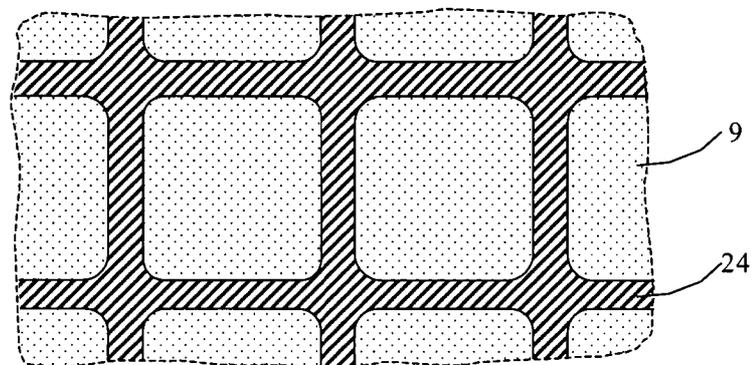


FIG. 4B