(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2011 103 229 T5** 2013.07.04

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/038939**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 103 229.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB2011/054213**
(86) PCT-Anmeldetag: **25.09.2011**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **04.07.2013**

(51) Int Cl.: ***H01L 27/146*** (2013.01)
H04N 9/04 (2013.01)

(30) Unionspriorität:

61/386,533	**26.09.2010**	**US**
61/392,069	**12.10.2010**	**US**
13/244,336	**24.09.2011**	**US**

(71) Anmelder:
Tay, Hiok Nam, Singapore, SG

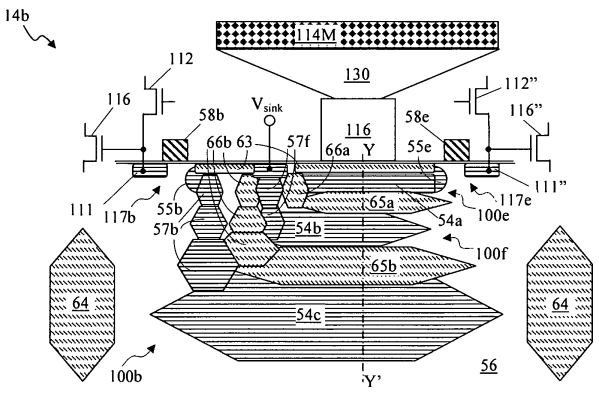
(74) Vertreter:
Graf Glück Kritzenberger, 93049, Regensburg, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Farbbildabtastung und -rekonstruktion**

(57) Zusammenfassung: Eine Bilderfassungvorrichtung, die eine Anordnung von Farbfiltern für die Farben Grün, Rot und Magenta umfasst, wobei die Farbfilter in der Art einer Bayer-Primärfarbenmatrix über einem Halbleitersubstrat angeordnet sind, mit dem Unterschied, dass die Farbe Magenta die Farbe Blau ersetzt. Licht, dass den Magenta-Filter durchläuft, wird in einer ersten Photodiode und einer tieferen zweiten Photodiode im Substrat getrennt für ein Signal einer oberflächennahen Photodiode bzw. ein Signal einer tiefliegenden Photodiode integriert. Eine zwischenliegende Photodiode kann zwischen der ersten und zweiten Photodiode vorgesehen sein und während einer Ladungsintegration auf einem festen Potential gehalten oder mehrere Male zurückgesetzt werden.
Ein Rot-Pixelwert für das Magenta-Pixel ist eine Funktion des Signals der tiefliegenden Photodiode und des Rot-Pixelsignals eines benachbarten Rot-Pixels. Seine Ableitung nach dem Ersteren weist ein Minimum bei einem Wert des Ersteren auf, der in Abhängigkeit von Letzterem variiert.



Beschreibung

Querverweis auf verwandte Anmeldungen

[0001] Für diese Anmeldung wird die Priorität der US-Patentanmeldung Nr. 61/386,533, eingereicht am 26. September 2010, der vorläufigen US-Patentanmeldung Nr. 61/392,069, eingereicht am 12. Oktober 2010, und der vorläufigen US-Patentanmeldung Nr. 13/244,336, eingereicht am 24. September 2011, beansprucht.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. Gegenstand der Erfindung

[0002] Die Erfindung betrifft im Allgemeinen Strukturen und Verfahren zur Abtastung von Farbbildern auf Festkörperbildsensoren und zur Rekonstruktion der Farbbilder.

2. Hintergrundinformationen

[0003] Photographische Geräte wie Digitalkameras und digitale Camcorder können elektronische Bildsensoren enthalten, die Licht zur Verarbeitung in Fest- oder Videobilder erfassen. Elektronische Bildsensoren enthalten typischerweise Millionen von Lichterfassungselementen wie z. B. Photodioden. Jedes der Elemente empfängt Licht, das einen Farbfilter in einer zweidimensionalen Farbfilteranordnung durchläuft.

[0004] Die Abb. 1A und Abb. 1B stellen Farbfilteranordnungen nach dem Stand der Technik gemäß der Matrix eines Bayer-Primärfarbenfilters dar.

[0005] Die Abb. 2A und Abb. 2B stellen Farbfilteranordnungen nach dem Stand der Technik dar, die nur die Farben Grün und Magenta verwenden.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Gemäß einem ersten Aspekt betrifft die Erfindung einen Bildsensor, der von einem Substrat eines ersten Leitfähigkeitstyps getragen wird und eine zweidimensionale Anordnung aus Anordnungen von je zwei mal zwei benachbarten Pixeln umfasst, wobei jede Anordnung von zwei mal zwei benachbarten Pixeln aus einem Paar von Grün-Pixeln entlang der einen Diagonale und einem Paar aus einem Rot- und einem Magenta-Pixel entlang der anderen Diagonale besteht und wobei jedes der Grün-Pixel über einen Grünfilter und einen Photodetektor verfügt, der über den Grünfilter Licht empfängt, das Rot-Pixel über einen Rotfilter und einen Photodetektor verfügt, der über den Rotfilter Licht empfängt, und das Magenta-Pixel Folgendes umfasst: (a) einen Magentafilter, (b) eine Gruppe vertikal gestapelter zweiter Bereiche eines zweiten Leitfähigkeitstyps, wobei diese Gruppe (i) einen oberflächennahen zweiten Bereich, (ii) einen tiefliegenden zweiten Bereich und (iii) einen zwischenliegenden zweiten Bereich, der sich zwischen dem oberflächennahen und tiefliegenden zweiten Bereich befindet, umfasst; (c) einen ersten Transferschalter, der zur Übertragung von Ladungsträgern aus dem oberflächennahen zweiten Bereich angekoppelt ist; und (d) einen zweiten Transferschalter, der zur Übertragung von Ladungen aus dem tiefliegenden zweiten Bereich angekoppelt ist.

[0007] Gemäß dem ersten Aspekt kann es sich bei dem ersten Leitfähigkeitstyp um den Typ p und bei dem zweiten Leitfähigkeitstyp um den Typ n handeln.

[0008] Gemäß dem ersten Aspekt weist der Magentafilter weiter bevorzugt ein Minimum der Durchlässigkeit bei Lichtwellenlängen in Luft von 520 nm bis 570 nm auf.

[0009] Gemäß dem ersten Aspekt weist der Magentafilter weiter bevorzugt ein Maximum der Durchlässigkeit bei Lichtwellenlängen in Luft von 420 nm bis 480 nm auf. Noch weiter bevorzugt weist der Magentafilter für Licht mit einer Wellenlänge in Luft von 650 nm eine Durchlässigkeit von über 50% auf. Alternativ weist der Magentafilter noch weiter bevorzugt eine Durchlässigkeit für Licht mit einer Wellenlänge in Luft von 650 nm auf, die wenigstens das Vierfache der Durchlässigkeit für Licht mit einer Wellenlänge von 550 nm beträgt.

[0010] Gemäß dem ersten Aspekt verfügt das erwähnte Rot-Pixel weiter bevorzugt über einen (1) Photodetektor. Noch weiter bevorzugt umfasst dieser Photodetektor einen oder mehrere elektrisch verbundene zweite Bereiche, die bis zu einer Tiefe von wenigstens 1,5 um reichen. Alternativ umfasst dieser Photodetektor noch weiter bevorzugt einen zweiten Bereich, der nicht mit einem anderen zweiten Bereich, der nicht elektrisch verbunden ist, gestapelt angeordnet ist und während eines Resets vollständig an Ladungsträgern eines Typs verarmt wird.

[0011] Gemäß dem ersten Aspekt umfasst das Magenta-Pixel weiter bevorzugt einen oberflächennahen ersten Bereich zwischen besagtem oberflächennahen zweiten Bereich und besagtem zwischenliegenden zweiten Bereich. Ebenfalls weiter bevorzugt umfasst besagte Pixelanordnung weiterhin einen tiefliegenden ersten Bereich zwischen besagtem tiefliegenden zweiten Bereich und besagtem zwischenliegenden zweiten Bereich. Noch weiter bevorzugt erhält der oberflächennahe (oder tiefliegende) erste Bereich während einer Ladungsintegrationsphase des tiefliegenden, oberflächennahen oder beider zweiter Bereiche einen durchgängigen neutralen Bereich horizontal durch sich selbst aufrecht. Darüber hinaus weiter bevorzugt ist der neutrale Bereich zwischen einer ersten Raumladungszone, die vom zwischenlie-

genden zweiten Bereich ausgeht, und einer zweiten Raumladungszone, die entweder vom tiefliegenden oder oberflächennahen zweiten Bereich auf der anderen Seite des neutralen Bereichs ausgeht, eingekeilt.

[0012] Gemäß dem ersten Aspekt erhält besagter zwischenliegender zweiter Bereich einen neutralen Bereich aufrecht, der zwischen einer ersten Raumladungszone, die aus dem oberflächennahen zweiten Bereich hervorgeht, und einer zweiten Raumladungszone, die aus dem tiefliegenden zweiten Bereich hervorgeht, eingekeilt ist, wodurch eine kapazitive Kopplung zwischen dem oberflächennahen und tiefliegenden zweiten Bereich gedämpft wird. Noch weiter bevorzugt wird der neutrale Bereich bei Beginn einer Ladungsintegrationsphase im oberflächennahen zweiten Bereich oder tiefliegenden zweiten Bereich auf einem vorgegebenen Spannungspegel gehalten und am Ende der Ladungsintegrationsphase auf einem vorgegebenen Spannungspegel gehalten. Alternativ noch weiter bevorzugt wird der neutrale Bereich bei Beginn einer Ladungsintegrationsphase im oberflächennahen zweiten Bereich oder tiefliegenden zweiten Bereich auf einem ersten Spannungspegel gehalten und am Ende der Spannungsintegrationsphase auf dem ersten Spannungspegel gehalten.

[0013] Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bildung eines Farbbilds aus einem Mosaikbild, das eine zweidimensionale Anordnung aus Anordnungen von je zwei mal zwei Bildpixeln umfasst, wobei jede Anordnung von zwei mal zwei Bildpixeln aus einem Paar von Grün-Bildpixeln entlang der einen Diagonale und einem Paar aus einem Rot- und einem Magenta-Bildpixel entlang der anderen Diagonale besteht, das Rot-Bildpixel ein erstes Signal umfasst, das im Wesentlichen für den roten Spektralbereich empfindlich ist, und das Magenta-Bildpixel ein zweites Signal umfasst, das im Wesentlichen für den roten Spektralbereich empfindlich ist, umfassend die Bildung eines dritten Signals, um die rote Farbe für das Magenta-Bildpixel als eine Funktion von mindestens dem ersten und zweiten Signal darzustellen. Bevorzugt weist der Betrag einer Ableitung des dritten Signals nach dem zweiten Signal ein Minimum auf. Weiter bevorzugt variiert eine Position des Minimums innerhalb eines Bereichs des zweiten Signals in Abhängigkeit vom ersten Signal. Noch weiter bevorzugt variiert der Betrag zwischen dem Minimum und der Position, wo der Betrag am größten ist, um mindestens den Faktor 2. Alternativ weiter bevorzugt ist eine Ableitung des dritten Signals nach dem ersten Signal dort, wo das zweite Signal das Minimum erreicht, größer als dort, wo das zweite Signal in einem anderen Zustand ist. Alternativ weiter bevorzugt erreicht der Betrag einen kleineren Minimalwert, wenn ein anderes Rot-Pixel-Signal von einem anderen Rot-Bildpixel neben dem Magenta-Bildpixel zum ersten Signal identisch ist, als wenn es vom ersten Signal um ein Viertel eines Bereichs der Rot-Pixel-Signal-Werte des Mosaikbilds abweicht.

[0014] Gemäß dem zweiten Aspekt kann das Magenta-Bildpixel weiterhin ein viertes Signal umfassen, das für den Magenta-Bereich des Spektrums empfindlich ist. Das Verfahren kann weiterhin die Bildung eines fünften Signals umfassen, um die blaue Farbe für das Magenta-Bildpixel darzustellen, indem ein erstes Vielfaches des zweiten Signals von einem zweiten Vielfachen des vierten Signals subtrahiert wird. Alternativ kann das Verfahren weiterhin die Bildung eines fünften Signals umfassen, um die blaue Farbe für das Magenta-Bildpixel darzustellen, indem ein erstes Vielfaches des dritten Signals von einem zweiten Vielfachen des vierten Signals subtrahiert wird.

[0015] Gemäß einem dritten Aspekt betrifft die Erfindung eine Demosaikierungseinheit (oder ein Demosaikierungsmittel), die ein Mosaikbild empfängt, wie es oben im Zusammenhang mit dem zweiten Aspekt beschrieben wurde, und ein drittes Signal für das Magenta-Bildpixel ausgibt, so dass das dritte Signal im Wesentlichen für den roten Spektralbereich empfindlich ist und über ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) verfügt als das zweite Signal und eine Funktion von mindestens dem ersten und zweiten Signal ist. Bevorzugt weist der Betrag einer Ableitung des dritten Signals nach dem zweiten Signal ein Minimum auf. Weiter bevorzugt variiert eine Position des Minimums innerhalb eines Bereichs des zweiten Signals in Abhängigkeit vom ersten Signal. Noch weiter bevorzugt variiert der Betrag zwischen dem Minimum und der Position, wo der Betrag am größten ist, um mindestens den Faktor 2. Alternativ noch weiter bevorzugt ist eine Ableitung des dritten Signals nach dem ersten Signal dort, wo das zweite Signal das Minimum erreicht, größer als dort, wo das zweite Signal in einem anderen Zustand ist.

[0016] Gemäß einem vierten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein nichtflüchtiges Computerdaten-Speichermedium, das computerausführbare Anweisungen enthält, bei deren Ausführung durch eine Demosaikierungseinheit diese veranlasst wird, einen oder mehrere der oben beschriebenen Aspekte des Verfahrens umzusetzen.

[0017] Gemäß einem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung überträgt ein Magentafilter Licht an eine oberflächennahe Photodiode und eine tiefliegende Photodiode. Die oberflächennahe Photodiode ist mit einem ersten Transferschalter verbunden. Die tiefliegende Photodiode ist mit einem zweiten Transferschalter verbunden. Der zweite Transferschalter befindet sich in einem Triodenbereich, wenn ein Lichtreaktions-Ausgangssignal, das anhand der tiefliegenden Photodiode erzeugt wird, durch einen Abtast-Kondensator außerhalb einer Pixelanordnung,

die die oberflächennahe und die tiefliegende Photodiode und den ersten und zweiten Transferschalter enthält, abgetastet wird, während der erste Transferschalter in einem nicht-leitenden Zustand ist, nachdem die in die oberflächennahe Photodiode integrierten Ladungsträger bereits an einen Abtastknoten übertragen wurden und wenn ein entsprechendes Ausgangssignal von einem Abtast-Kondensator außerhalb der Pixelanordnung abgetastet wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0018] Die Abb. 1A und Abb. 1B stellen Farbfilteranordnungen nach dem Stand der Technik gemäß der Matrix eines Bayer-Primärfarbenfilters dar;

[0019] Die Abb. 2A und Abb. 2B stellen Farbfilteranordnungen nach dem Stand der Technik dar, die nur die Farben Grün und Magenta verwenden;

[0020] Abb. 3 zeigt eine Ausführungsform eines Bildsensors;

[0021] Abb. 4 zeigt eine Ausführungsform eines Bilderfassungssystems;

[0022] Die Abb. 5A und Abb. 5B stellen Farbfilteranordnungen dar;

[0023] Abb. 6 zeigt ein Schema eines Farbfilters und entsprechender Photodetektoren für jedes der vier Pixel einer Gruppe von zwei mal zwei benachbarten Pixeln in einer Ausführungsform einer Pixelanordnung;

[0024] Die Abb. 7A, Abb. 7B und Abb. 7C stellen Schemata der Photodetektoren und der betreffenden Schaltungen innerhalb der Pixelanordnung dar;

[0025] Abb. 8 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer Ausführungsform eines Magenta-Pixels, das gestapelte Photodioden enthält;

[0026] Abb. 9 ist ein Diagramm, das ein vertikales Profil der Netto-Dotierungskonzentration entlang der vertikalen, einfach gepunkteten/gestrichelten Linie YY' durch die gestapelten Photodioden des Magenta-Pixels von Abb. 8 zeigt;

[0027] Die Abb. 10A, Abb. 10B, Abb. 10C zeigen drei alternative Konfigurationen für die Ansteuerung des Kontakts V_{sink}, der mit einer zwischenliegenden Photodiode innerhalb des Photodioden-Stapels verbunden ist;

[0028] Abb. 11 ist ein Diagram, das die Wahrscheinlichkeit des Eindringens von Photonen in Silizium in Abhängigkeit von der Eindringtiefe zeigt;

[0029] Abb. 12 ist ein Diagramm, das die Absorptionseffizienz von Photonen einer tiefliegenden Photodiode und separat einer oberflächennahen Photodiode in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt;

[0030] Abb. 13 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines ersten Magentafilters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt;

[0031] Abb. 14 ist ein Diagramm, das die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden und oberflächennahen Photodiode in Verbindung mit dem ersten Magentafilter sowie eine kombinierte spektrale Empfindlichkeit, die eine gewichtete Differenz dieser Empfindlichkeiten darstellt, zeigt;

[0032] Abb. 15 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines zweiten Magentafilters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt;

[0033] Abb. 16 ist ein Diagramm, das die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden und oberflächennahen Photodiode in Verbindung mit dem zweiten Magentafilter sowie eine kombinierte spektrale Empfindlichkeit, die eine gewichtete Differenz dieser Empfindlichkeiten darstellt, zeigt;

[0034] Abb. 17 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer zweiten Ausführungsform des Magenta-Pixels;

[0035] Abb. 18 zeigt ein vertikales Profil der Netto-Dotierungskonzentration entlang der vertikalen, einfach gepunkteten/gestrichelten Linie YY' in Abb. 17 der zweiten Ausführungsform des Magenta-Pixels;

[0036] Abb. 19 zeigt eine Raumladungszone des oberflächennahen oberflächennahen zweiten Bereichs und eine Raumladungszone des tiefliegenden zweiten Bereichs, zwischen denen sich ein neutraler Bereich befindet, der sich horizontal über den zwischenliegenden zweiten Bereich erstreckt;

[0037] Abb. 20 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer dritten Ausführungsform des Magenta-Pixels;

[0038] Abb. 21 zeigt ein vertikales Profil der Netto-Dotierungskonzentration entlang der vertikalen, einfach gepunkteten/gestrichelten Linie YY' in Abb. 20 der dritten Ausführungsform des Magenta-Pixels;

[0039] Abb. 22 ist ein Diagramm, das die Absorptionseffizienz von Photonen einer tiefliegenden Photodiode der dritten Ausführungsform und separat einer oberflächennahen Photodiode der dritten Ausführungsform in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt;

[0040] Abb. 23 ist ein Diagramm, das die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden und oberflächen-

nahen Photodiode der dritten Ausführungsform in Verbindung mit dem ersten Magentafilter sowie eine kombinierte Empfindlichkeit, die eine gewichtete Differenz dieser Empfindlichkeiten darstellt, zeigt.

[0041] Abb. 24 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer Ausführungsform eines Rot-Pixels;

[0042] Abb. 25 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer alternativen Ausführungsform eines Rot-Pixels;

[0043] Abb. 26 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines ersten Rot-Filters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt;

[0044] Abb. 27 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines zweiten Rot-Filters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt;

[0045] Abb. 28 ist ein Diagramm, dass eine Variation einer Gewichtung w_D für das Signal D, das anhand der tiefliegenden Photodiode erzeugt wird, in Abhängigkeit von beta zeigt, wobei beta ein Verhältnis einer Differenz zwischen dem Signal D und einem interpolierten Signal Y, das unabhängig vom Signal D ist, zu einem Vielfachen einer Standardabweichung des Rauschens im Signal D misst.

[0046] Abb. 29 ist ein Diagramm, das einen Zusammenhang zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode und dem erzeugten Rot-Pixelsignal R für das Magenta-Bildpixel zeigt, wobei das Diagramm einen flacheren Abschnitt aufweist;

[0047] Abb. 30 ist ein Diagramm, das eine Ableitung des Rot-Pixelsignals R von Abb. 29 nach dem Signal D der tiefliegenden Photodiode zeigt;

[0048] Abb. 31 ist ein Diagramm, das einen Zusammenhang zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode, einem ersten Rot-Pixelsignal RY und einem zweiten Rot-Pixelsignal RZ zeigt;

[0049] Abb. 32 ist ein Diagramm, das einen Zusammenhang zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode und dem erzeugten Rot-Pixelsignal R zeigt, wobei das Diagramm zwei unterschiedliche flachere Abschnitte aufweist;

[0050] Abb. 33 ist ein Diagramm, das eine Ableitung des Rot-Pixelsignals von Abb. 28 nach dem Signal D der tiefliegenden Photodiode zeigt;

[0051] Abb. 34 zeigt ein Blockdiagramm eines Kameraprozessors **212**.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0052] Es wird ein Bildsensor offenbart, der eine Anordnung von Rot-, Grün- und Magentafiltern über einer Pixelanordnung, die von einem Substrat getragen wird, umfasst.

[0053] Die Abb. 3 und Abb. 4 beschreiben einen Bildsensor **10** gemäß der vorliegenden Erfindung bzw. ein Bilderfassungssystem **202** gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0054] Im Folgenden wird mit Hilfe von Bezugsnummern konkreter auf die Zeichnungen Bezug genommen. Abb. 3 zeigt eine Ausführungsform eines Bildsensors **10**, der eine Pixelanordnung **12**, einen Zeilendekodierer **20**, eine Lichtleseschaltung **16** und einen Analog-Digital-Umsetzer (analog-to-digital converter, ADC) umfasst. Die Pixelanordnung umfasst eine zweidimensionale Anordnung einer Gruppe von jeweils zwei mal zwei Pixeln **15**, wobei jedes Pixel über einen oder mehrere Photodetektoren und einen Farbfilter verfügt, der das Licht filtert, bevor es den bzw. die Photodetektoren erreicht. Der Bus **18** umfasst Spaltenausgangssignalleitungen, die die Pixel spaltenweise verbinden. Die Lichtleseschaltung **16** entspricht der Beschreibung in US-Patent 7,233,350 oder der Beschreibung in US-Patentanmeldung 12/639941. Sie besitzt einen oder mehrere Kondensatoren für die Abtastung der einzelnen Spaltenausgangssignale im Bus **18**. Das bzw. die analogen Ausgangssignale **26** von der Lichtleseschaltung **16** werden dem ADC zur Umsetzung in digitale Bilddaten, die über den Bus **66** ausgegeben werden, bereitgestellt. Der Zeilendekodierer **20** stellt im Bus **22** Zeilensignale für die Auswahl von Pixeln nach der Zeile, für das Zurücksetzen von Pixeln nach der Zeile und für die Übertragung von Ladungsträgern in Pixel nach der Zeile bereit. Die Farbfilteranordnung **13** ist eine zweidimensionale Anordnung von Farbfiltern, die über den Photodetektoren der Pixelanordnung **12** liegen.

[0055] Abb. 4 zeigt eine Ausführungsform eines Bilderfassungssystems **202**, das einen Bildsensor **10**, eine Fokuslinse **204**, einen Antriebsmotor und eine Antriebsschaltung **218**, einen Prozessor **212**, eine Eingabevorrichtung **206**, ein Display **214** und ein Speichergerät **216** enthält.

Pixelanordnung

[0056] Die Abb. 5A–Abb. 7C beschreiben die Pixelanordnung **12**.

[0057] Die Abb. 5A und Abb. 5B stellen Farbfilteranordnungen gemäß der vorliegenden Erfindung dar;

[0058] Abb. 5A zeigt eine Farbfilteranordnung **13** gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Bildausgabe von der Pixelanordnung **12** beginnt unten und schreitet nach oben in der Richtung des Pfeils „Vertikale Abtastung" voran. Die Farbfilteranordnung **13** ist als zweidimensionale Anordnung von Farbfiltern der

Farben Grün (G), Rot (R) und Magenta (M) organisiert. Genauer ist die Farbfilteranordnung **13** als zweidimensionale Anordnung von Einheiten mit jeweils zwei mal zwei Farbfiltern **13a** organisiert, die jeweils aus einem Paar von Grünfiltern (G) entlang der einen Diagonale und einem Paar aus einem Rotfilter (R) und einem Magentafilter (M) entlang der anderen Diagonale bestehen.

[0059] Abb. 5B zeigt eine Farbfilteranordnung **13'**, die eine alternative Ausführungsform der Farbfilteranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt. Diese Farbfilteranordnung **13'** ist relativ zur Richtung der vertikalen Abtastung um 45° gedreht. Genauer ist die Farbfilteranordnung **13'** als zweidimensionale Anordnung von Einheiten **13a'** mit jeweils zwei mal zwei Farbfiltern organisiert, die relativ zur Richtung der vertikalen Abtastung um 45° gedreht ist.

[0060] Abb. 6 stellt ein Schema von vier Pixeln in der Gruppe von zwei mal zwei Pixeln **15** dar, das einen Farbfilter und den bzw. die entsprechende(n) Photodetektor(en) für jedes der vier Pixel zeigt. Ein Paar Grünfilter **114G**, ein Rotfilter **114R** und ein Magentafilter **114M** sind gemäß der in Abb. 5A gezeigten Einheit von zwei mal zwei Farbfiltern **13a** angeordnet. Das Grün-Pixel **14a** oben rechts verfügt über einen Grünfilter **114G**, der das Licht für die Photodiode **100a** filtert. Das Magenta-Pixel **14b** unten rechts verfügt über einen Magentafilter **114M**, der das Licht für die Photodioden **114e** und **100b** filtert. Das Grün-Pixel **14c** unten links verfügt über einen Grünfilter **114G**, der das Licht für die Photodiode **100c** filtert. Das Rot-Pixel **14d** oben links verfügt über einen Rotfilter **114R**, der das Licht für die Photodiode **100d** filtert.

[0061] Die Abb. 7A, Abb. 7B und Abb. 7C stellen Schemata der Photodetektoren **100a**–**100e** und exemplarischer Schaltungen innerhalb der Pixelgruppe **15** dar.

[0062] Abb. 7A zeigt die Photodetektoren **100a**, **100c** der zwei Grün-Pixel **14a** bzw. **14c**, die über die Transferschalter **117a** bzw. **117c** mit dem Abtastknoten **111** verbunden sind. Ein HIGH-Impuls der Zeilensignale TF(n + 1) **121a** (oder TF(n) **121b**) von Bus **22** schaltet den Transferschalter **117a** (oder **117c**) ein, um Ladungsträger von der Photodiode **100a** (oder **100c**) zum Abtastknoten **111** zu übertragen. Der Ausgangstransistor **116** puffert ein Abtastknoten-Spannungssignal am Abtastknoten **111** und überträgt es über den Auswahlschalter **114**, der durch ein Zeilensignal SEL(n) **122**, das vom Zeilendekodierer **20** in den Bus **22** ausgegeben wird, eingeschaltet wird, zur Spalten-Ausgangssignalleitung OUT(m) **124**.

[0063] In einem Modus können die Transferschalter **117a**, **177c** separat eingeschaltet werden, ohne dass eine Überlappung mit den Ladungsübertragungsimpulsen der entsprechenden Signale TF(n) und TF(n + 1) resultiert. In einem anderen Modus können die Transferschalter **117a**, **177c** gleichzeitig in einem leitenden Zustand sein, so dass die Ladungen der Photodioden **100a**, **100c** addiert werden.

[0064] Das Ausgangssignal in der Spalten-Ausgangssignalleitung OUT(m) **124** ist Teil des Bus **18** und kann von der Lichtleseschaltung **16** abgetastet werden. Die US-Patentanmeldung 12/639941 beschreibt verschiedene Verfahren bezüglich der Abfolge der Schalterbetätigung in einer solchen Schaltung und der Abtastung des Spaltenausgangssignals. Diese verschiedenen Verfahren werden hierin durch Bezugnahme einbezogen. Alternativ kann die Schalterbetätigung und die Abtastung des Spaltenausgangssignals gemäß der konventionellen korrelierten Doppelabtastung (correlated double sampling) für gepinnte Photodioden (pinned photodiode) erfolgen.

[0065] Die Photodioden **100a** (oder **100c**), Transferschalter **117a** (oder **117c**), der Resetschalter **112** und Auswahlschalter **114** können gemäß einem der in der US-Patentanmeldung 12/639941 beschriebenen Verfahren betrieben werden. Insbesondere wird zum Start der Ladungsintegration im Photodetektor **100a** (oder **100c**) ein Ausgangssignal, das durch den Ausgangstransistor **116** zur Spaltensignalleitung OUT(m) **124** übertragen wird, von einer Lichtleseschaltung abgetastet, wenn der Resetschalter **112** und der Transferschalter **117a** (oder **117c**) sich beide in einem Triodenbereich befinden; es wird daraufhin erneut ein Ausgangssignal abgetastet, wenn der Resetschalter **112** ausgeschaltet wird, während der Transferschalter **117a** (oder **117c**) in einem Triodenbereich bleibt; schließlich wird erneut ein Ausgangssignal abgetastet, nachdem der Transferschalter **117a** (oder **117c**) ausgeschaltet wird; und es wird eine mit Vorzeichen gewichtete Summe aus diesen drei Abtastsignalen gebildet, um ein Rauschsignal bereitzustellen. Zum Beenden der Ladungsintegration wird ein Ausgangssignal vom Ausgangstransistor **116** an der Spaltensignalleitung OUT(m) **124** abgetastet, wenn sich der Resetschalter **112** in einem Triodenbereich befindet, während der Transferschalter nicht-leitend ist; daraufhin wird der Resetschalter **112** ausgeschaltet und ein Ausgangssignal an der Spalten-Signalleitung OUT(m) **124** abgetastet; es wird erneut ein Ausgangssignal an der Leitung OUT (m) **124** abgetastet, wenn der Transferschalter **117a** (oder **117c**) in einen Triodenbereich geschaltet wird; und es wird eine mit Vorzeichen gewichtete Summe aus diesen drei abgetasteten Signalen gebildet, um ein Lichtreaktionssignal bereitzustellen. Das Rauschsignal wird vom Lichtreaktionssignal subtrahiert, um ein entrauschtes Lichtreaktions-Ausgangssignal bereitzustellen. Diese Subtraktion kann durch den Bildsensor **10** oder den Prozessor **212** durchgeführt werden.

[0066] Alternativ können die Photodioden **100a** (oder **100c**), Transferschalter **117a** (oder **117c**), der Resetschalter **112** und der Auswahlschalter **114** gemäß dem korrelierten Doppelabtastungsverfahren für Pixel mit gepinnten Photodioden betrieben werden. Zum Starten einer Ladungsintegration: (i) den Transferschalter **117a** (oder **117c**) und den Resetschalter **112** einschalten und die Photodiode **100a** (oder **100c**) vollständig verarmen, (ii) den Transferschalter **117a** (oder **117c**) und den Resetschalter **112** ausschalten. Zum Beenden einer Ladungsintegration: (A) Das Zeilensignal RST(n) **118** besitzt einen positiven Impuls, der den Resetschalter **112** ein- und ausschaltet, so dass der Abtastknoten **111** zurückgesetzt wird, (B) das Zeilensignal SEL(n) **122** wählt den Auswahlschalter **114**, um ein gepuffertes und pegelverschobenes Reset-Ausgangssignal vom Ausgangstransistor **116** zur Lichtleseschaltung **16** zu übertragen, (C) die Lichtleseschaltung tastet das Ausgangssignal ab, (D) der Transferschalter **117a** (oder **117c**) wird eingeschaltet und Ladungsträger von der Photodiode **100a** (oder **100c**) werden zum Abtastknoten **111** übertragen, (E) die Lichtleseschaltung tastet ein Ausgangssignal vom Ausgangstransistor **116** ab und (F) eine Differenz zwischen den beiden abgetasteten Ausgangssignalen wird ermittelt.

[0067] Abb. 7B zeigt ein Schema einer Schaltung, die den Photodetektor **100b** des Magenta-Pixels **14b** und den Photodetektor **100d** des Rot-Pixels **14d** enthält. Abb. 7C zeigt ein Schema einer Schaltung, die den Photodetektor **100e** des Magenta-Pixels **14b** enthält. Wie in Abb. 7A kann der anfängliche Reset und die abschließende Abtastung bei jedem der Photodetektoren **100b**, **100d** und **100e** entweder gemäß einem Verfahren von US-Patentanmeldung 12/639941 oder dem korrelierten Doppelabtastungsverfahren durchgeführt werden.

[0068] Die Anordnung und wechselseitigen Verbindungen zwischen den Photodioden und Zeilensteuersignalen RST(n), TF(n) und TF(n – 1) sowie zwischen den Photodioden und Spaltenausgangssignalen OUT(m), OUT(m + 1) und OUT2(m) können auf verschiedene Weisen umgestaltet werden, wie von einem Fachmann durchführbar, zum Beispiel zur Anpassung an eine um 45° gedrehte Farbfilteranordnung, wie sie in Abb. 5B gezeigt wird.

[0069] Darüber hinaus können die zugehörigen Schaltungen des einen Photodetektors gemäß einem Verfahren von US-Patentanmeldung 12/639941 betrieben werden, wie oben beschrieben, und die des anderen gemäß dem korrelierten Doppelabtastungsverfahren. Beispielsweise können der zugehörige Resetschalter **112"** und Transferschalter **117e** des Photodetektors **110e** gemäß dem konventionellen korrelierten Abtastungsverfahren für gepinnte Photodioden betätigt werden, während der Transferschalter **117d** des Photodetektors **100b** des gleichen Magenta-Pixels **114b** gemäß einem Verfahren aus US-Patentanmeldung 12/639941 betätigt wird. Zu beachten ist, dass in diesem Fall der Transferschalter **117d** für die Photodiode **100b** sich in einem Triodenbereich befindet, wenn ein Lichtreaktions-Ausgangssignal von der Photodiode **100b** durch die Lichtleseschaltung **16** abgetastet wird, während der Transferschalter **117e** für die Photodiode **115e** in einem nichtleitenden Zustand ist, nachdem in der Photodiode **100e** integrierte Ladungsträger bereits zum Abtastknoten **111"** übertragen wurden und wenn ein entsprechendes Ausgangssignal in der Leitung OUT2(m) durch einen Abtast-Kondensator abgetastet wird. Diese Methode hat die folgenden Vorteile. Erstens ist es nur schlecht möglich, die tiefliegende Photodiode mit Hilfe des konventionellen korrelierten Doppelabtastungsverfahrens für gepinnte Photodioden vollständig zurückzusetzen, da es schwierig ist, sie vollständig an Elektronen zu verarmen, während die Verfahren in US-Patentanmeldung 12/639941 keine Verarmung der Photodiode an Elektronen erfordern, um Reset-Rauschen auszulöschen. Zweitens kann die oberflächennahe Photodiode gut unter dem konventionellen korrelierten Doppelabtastungsverfahren für gepinnte Photodioden betrieben werden, dessen Schaltung einfacher ist als beim Verfahren aus US-Patentanmeldung 12/639941. Darüber hinaus kann jedem solchen Photodetektor, der gemäß dem korrelierten Doppelabtastungsverfahren betrieben wird, ein separater Satz von Steuersignalen RST2(n) und/oder TF2(n) im Bus **22** bereitgestellt werden, dessen Impulse gemäß den korrelierten Doppelabtastungs-Steuersequenzen (i)–(ii) und (A)–(E) oben erfolgen.

Magenta-Pixel

[0070] Die Abb. 8–Abb. 23 beschreiben das Magenta-Pixel **14b**.

Erste Ausführungsform des Magenta-Pixels

[0071] Abb. 8 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer ersten Ausführungsform eines Magenta-Pixels **14b**, welche die gestapelten Photodioden **100e**, **100f**, **100b** gemäß der vorliegenden Erfindung enthält. Die tiefliegende Photodiode **100b** und die oberflächennahe Photodiode **100e** werden in einem leichtdotierten Halbleitersubstrat **56** eines ersten Leitfähigkeitstyps, bevorzugt des Typs p, gebildet, und weisen weiter bevorzugt eine Dotierungskonzentration zwischen 5e14/cm^3 und 5e15/cm^3 auf. Bei dem Substrat **56** kann es sich um eine leichtdotierte p-Epi-Schicht auf einem starkdotierten p-Substrat mit einer Dotierungskonzentration von über 1e19/cm^3 handeln. Die Photodiode **100b** befindet sich am tiefsten im Substrat **56** und umfasst einen tiefliegenden zweiten Bereich **54c** eines zweiten Leitfähigkeitstyps, bevorzugt des Typs n. Die oberflächennahe Photodiode **100e** befindet sich nahe der Oberfläche im Substrat **56** und umfasst einen oberflächennahen zweiten Bereich **54a** des

zweiten Leitfähigkeitstyps, der oberhalb des tiefliegenden zweiten Bereichs **54c** und unter einem unmittelbar an der Oberfläche liegenden ersten Bereich **63**, welcher verhindert, dass die Raumladungszone, die sich im oberflächennahen zweiten Bereich **54a** bildet, die Oberfläche des Substrats **56** erreicht, angeordnet ist. Die Photodioden **100b**, **100e** werden von einem oberflächennahen ersten Bereich **65a** und einem tiefliegenden ersten Bereich **65b** unter dem oberflächennahen ersten Bereich **65a** getrennt, die beide vom ersten Leitfähigkeitstyp sind. Darüber hinaus befindet sich zwischen den tiefliegenden und oberflächennahen ersten Bereichen **65a**, **65b** eine zwischenliegende Photodiode **100f**, die einen zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** des zweiten Leitfähigkeitstyps enthält. Zusammen stellen die oberflächennahe, zwischenliegende **100f** und tiefliegende **100b** Photodiode gestapelte Photodioden für das Magenta-Pixel **14b** dar.

[0072] Der oberflächennahe zweite Bereich **54a** erreicht bevorzugt eine Tiefe von 0,4 µm bis 1,2 µm. Der tiefliegende zweite Bereich **54c** beginnt bevorzugt bei einer Tiefe zwischen 1,7 µm und 2,5 µm. Der zwischenliegende zweite Bereich **54b** befindet sich bevorzugt in einem Tiefenbereich zwischen 1 µm und 2 µm und weiter bevorzugt zwischen 1,2 µm und 1, 8 µm.

[0073] In dieser Ausführungsform wird von oberhalb des Magenta-Pixels **14b** einfallendes Licht zuerst durch den Magentafilter **114M** gefiltert und dann über ein Paar kaskadierter Lichtleiter **130**, **116** zu den gestapelten Photodioden geleitet.

[0074] Im Substrat **56** sind Barrierebereiche des ersten Leitfähigkeitstyps neben dem tiefliegenden zweiten Bereich **54c** vorgesehen, die den tiefliegenden zweiten Bereich **54c** von der Raumladungszone trennen, die sich in den angrenzenden grünen **114a**, **114c** oder roten **114d** Pixeln bildet. Der Barrierebereich **64** weist eine Netto-Dotierungskonzentration auf, die höher ist als die Hintergrund-Dotierungskonzentration des Substrats **56** und bevorzugt einen Maximalwert zwischen 1e16/cm^3 und 7e17/cm^3 erreicht. Der Barrierebereich **64** unterhält in seinem Inneren einen neutralen Bereich, der die Raumladungszone, die aus dem tiefliegenden zweiten Bereich **54c** hervorgeht, von der Raumladungszone, die aus einem der benachbarten Grün- und Rot-Pixel hervorgeht, trennt, um Übersprechen zwischen Pixeln durch kapazitive Kopplung über das Substrat **56** zu reduzieren.

[0075] Der tiefliegende zweite Bereich **54c** ist über die zweiten Bereiche **57b**, **55b**, die den zweiten Leitfähigkeitstyp aufweisen, elektrisch mit dem Transferschalter **117b** verbunden. Der Transferschalter **117b** umfasst das Gate **58b** und eine Drain-Diffusion (vom zweiten Leitfähigkeitstyp, an der Oberfläche des Substrats **56**), die außerdem den Abtastknoten **111** darstellt. Der Abtastknoten **111** ist weiterhin mit dem Ausgangstransistor **116** und dem Resetschalter **112** (nur symbolisch dargestellt) verbunden.

[0076] Der oberflächennahe zweite Bereich **54a** ist über einen zweiten Bereich **55e** des zweiten Leitfähigkeitstyps elektrisch mit dem Transferschalter **117e** verbunden. Der Transferschalter **117e** umfasst das Gate **58e** und eine Drain-Diffusion (des zweiten Leitfähigkeitstyps), die außerdem den Abtastknoten **111"** darstellt. Der Abtastknoten **111"** ist weiterhin mit dem Ausgangstransistor **116"** und dem Resetschalter **112"** (nur symbolisch dargestellt) verbunden.

[0077] Der zwischenliegende zweite Bereich **54b** ist über eine Kette von zweiten Bereichen **57f** mit einem Diffusionsknoten V_{sink} in **Abb. 8** elektrisch verbunden, aber die Diffusion kann durch eine Anordnung ähnlich dem zweiten Bereich **55e** und dem an der Oberfläche liegenden ersten Bereich **66a** sowie einen Schalter ähnlich dem Transferschalter **117e** ersetzt werden, wie schematisch in **Abb. 10C** gezeigt und unten beschrieben.

[0078] Zusätzliche erste Bereiche **66a**, **66b** verhindern, dass Raumladungszonen, die sich ausgehend von verschiedenen Photodioden **100b**, **100e**, **100f** bilden, ineinander übergehen.

[0079] **Abb. 9** ist ein Diagramm, das ein vertikales Profil der Netto-Dotierungskonzentration in den gestapelten Photodioden des Magenta-Pixels von **Abb. 8** zeigt. „A" bezeichnet die Netto-Dotierungskonzentration des oberflächennahen zweiten Bereichs **54A**. „B" bezeichnet diejenige des oberflächennahen ersten Bereichs **65a**. „C" bezeichnet diejenige des zwischenliegenden zweiten Bereichs **54b**. „D" bezeichnet diejenige des tiefliegenden ersten Bereichs **65b**. „E" bezeichnet diejenige des tiefliegenden zweiten Bereichs **54c**. Jenseits von „E" folgt diejenige des Substrats **56**.

[0080] Die **Abb. 10A**, **Fig. 10B**, **Fig. 10C** zeigen drei alternative Konfigurationen für die Ansteuerung des Kontakts V_{sink}, der mit der zwischenliegenden Photodiode **100f** innerhalb des Photodioden-Stapels verbunden ist. In **Abb. 10A** ist der Kontakt V_{sink} mit Erde verbunden. In **Fig. 10B** wird der Kontakt V_{sink} durch einen Puffer angesteuert, der zwischen einem Erdpotential und einer Spannungsquelle umschaltet, wobei die Spannungsquelle einen einstellbaren Spannungspegel bereitstellen kann. In **Abb. 10C** wird der Kontakt V_{sink} durch einen Puffer über einen Schalter angesteuert, wobei der Puffer eine einstellbare Spannungsquelle puffert.

[0081] Der Kontakt V_{sink} kann auf einem vorgegebenen Spannungspegel gehalten werden, wenn eine Ladungsintegrationsphase in der oberflächenna-

hen Photodiode **100e** oder der tiefliegenden Photodiode **100b** beginnt, und wird auf einem vorgegebenen Spannungspegel gehalten, wenn die Ladungsintegrationsphase endet. Weiter bevorzugt kann der Kontakt V_{sink} auf einem ersten Spannungspegel gehalten werden, wenn eine Ladungsintegrationsphase im oberflächennahen zweiten Bereich **100e** oder dem tiefliegenden zweiten Bereich **100b** beginnt, und wird auf dem ersten Spannungspegel gehalten, wenn die Ladungsintegrationsphase endet. Noch weiter bevorzugt kann der Kontakt V_{sink} während der gesamten Ladungsintegrationsphase auf einem konstanten Spannungspegel gehalten werden. Ein neutraler Bereich setzt sich vom zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** bis zum Kontakt V_{sink} fort. Dieser neutrale Bereich hat die Spannung des Kontakts V_{sink} und leitet Elektronen aus dem zwischenliegenden zweiten Bereichs **54b** ab. Photonen der Wellenlänge 500 +/– 20 nm, die nicht im oberflächennahen zweiten Bereich **54a** absorbiert werden, aber im zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** absorbiert werden, erzeugten im zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** freie Elektronen. Diese freie Elektronen werden vom Substrat weggeleitet, wodurch verhindert wird, dass sie von der tiefliegenden Photodiode **100b** eingefangen werden, was andernfalls zu einer spektralen Empfindlichkeit der tiefliegenden Photodiode im Wellenlängenbereich 500 +/– 20 nm führen würde.

[0082] Analog kann der zwischenliegende zweite Bereich elektrisch auf einem Spannungspegel gehalten werden, wenn ein Transferschalter **117e** (oder **117b**) in einem leitenden Zustand ist, um Ladungsträger entweder vom oberflächennahen zweiten Bereich **54a** oder vom tiefliegenden zweiten Bereich **54c** zu einem Abtastknoten **111"** (oder **111**) zu übertragen, der in einem Float-Zustand ist.

[0083] Abb. 11 ist ein Diagramm, das die Wahrscheinlichkeit des Eindringens von Photonen in Silizium in Abhängigkeit von der Eindringtiefe zeigt. Insbesondere zeigt es, dass: (A) etwa 90% der (blauen) Photonen mit einer Wellenlänge von 450 nm innerhalb der ersten 1 µm des Siliziums absorbiert werden; (B) 40% der (roten) Photonen mit einer Wellenlänge von 650 nm weiter als 2 µm eindringen und 50% weiter als 3 µm eindringen; und (C) das Silizium zwischen 1 µm & 2 µm 20% der Photonen mit einer Wellenlänge von 650 nm, 30% der (grünen) Photonen mit einer Wellenlänge von 550 nm und 10% der (blauen) Photonen mit einer Wellenlänge von 450 nm absorbiert.

[0084] Abb. 12 ist ein Diagramm, das die Absorptionseffizienz von Photonen der tiefliegenden Photodiode **100b** und separat der oberflächennahen Photodiode **100e** in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt. Die Absorptionseffizienz ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein von einem Photon einer bestimmten Wellenlänge (in Luft) erzeugter Ladungsträger von der Photodiode eingefangen wird. Von der zwischenliegenden Photodiode **100f** eingefangene Ladungsträger werden über den Kontakt V_{sink} entfernt. Wie in Abb. 12 gezeigt, ist die Absorptionseffizienz der oberflächennahen Photodiode **100e** im purpurblauen Bereich (Wellenlänge < 450 nm) am höchsten und nimmt mit dem Anstieg der Wellenlänge über 450 nm kontinuierlich bis etwa 0,2 im roten Bereich (Wellenlänge > 600 nm) ab. Bei der tiefliegenden Photodiode **100b** dagegen ist die Absorptionseffizienz im roten Bereich am höchsten (etwa 0, 25) und nimmt mit dem Fallen der Wellenlänge auf 500 nm kontinuierlich bis unter 0,05 ab.

[0085] Der Magentafilter **114M** sollte für grünes Licht im Wellenlängenbereich von 500 nm bis 600 nm eine geringe Durchlässigkeit aufweisen und ein Minimum von 10% oder weniger erreichen. Er sollte eine hohe Durchlässigkeit für blaues Licht im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 500 nm und ein Maximum bei 450 nm +/– 20 nm aufweisen, das mindestens das Vierfache des Minimums im grünen Bereich erreicht. Er sollte ebenso eine hohe Durchlässigkeit für rotes Licht mit Wellenlängen über 600 nm aufweisen und bei 650 nm +/– 30 nm eine Durchlässigkeit erreichen, die nicht mehr als 10% von der Maximaldurchlässigkeit abweicht.

[0086] Abb. 13 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines ersten Magentafilters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt. Die Durchlässigkeit weist zwei Maximumsbereiche auf, einen um die Wellenlänge von 450 nm („blaues Maximum") und einen um 650 nm („rote Schulter"), sowie ein Minimum zwischen 500 nm und 600 nm. Für Wellenlängen unter 410 nm fällt die Durchlässigkeit auf weniger als 10% der maximalen Durchlässigkeit des blauen Maximums ab.

[0087] Zu beachten ist, dass, wenn ein in der Pixelanordnung **12** benutzter Magentafilter und/oder ein Rot-Filter eine Schulter der Durchlässigkeit im roten Bereich (600 nm bis 700 nm) aufweist, wie in Abb. 13 gezeigt, anstatt jenseits von 650 +/– 20 nm abzufallen, ein Infrarotfilter vor der Pixelanordnung **12** in den Weg des Lichts eingebracht werden kann, so dass die kombinierte Durchlässigkeit des Magenta-/Rot-Filters und des Infrarotfilters jenseits von 650 +/– 20 nm auf deutlich weniger als die maximale Durchlässigkeit im roten Bereich abfällt, bevorzugt auf weniger als 10% bei einer Wellenlänge von 700 nm.

[0088] Abb. 14 zeigt ein Diagramm der spektralen Empfindlichkeit der tiefliegenden **100b** und oberflächennahen **100e** Photodiode in Verbindung mit dem ersten Magentafilter sowie einer gewichteten Differenz dieser Empfindlichkeiten. Die spektrale Empfindlichkeit der oberflächennahen Photodiode **100e**, mit Oberflächennah1 bezeichnet, ist im blauen Be-

reich (400 nm bis 500 nm) glockenförmig und weist ein Maximum zwischen 430 nm und 470 nm auf sowie ein Minimum um etwa 550 nm. Die Kurve Oberflächennah1 weist eine Schulter im roten Bereich auf, deren Höhe ungefähr ein Viertel der Höhe des Maximums im blauen Bereich beträgt.

[0089] Die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden Photodiode **100b**, mit Tiefliegend1 bezeichnet, weist andererseits ähnlich wie die Kurve Oberflächennah1 eine Schulter im roten Bereich auf, zeigt aber im blauen Bereich nur eine vernachlässigbare Empfindlichkeit.

[0090] Die beiden Kurven Oberflächennah1 und Tiefliegend1 weisen ein Minimum der spektralen Empfindlichkeit um etwa 550 nm +/– 20 nm aufgrund des Minimums der Durchlässigkeit des ersten Magentafilters in diesem Wellenlängenbereich auf.

[0091] Abb. 14 zeigt außerdem eine kombinierte spektrale Empfindlichkeit, die eine gewichtete Differenz von Oberflächennah1 und Tiefliegend1 ist – Oberflächennah1 – K Tiefliegend1 –, wobei der Gewichtungsfaktor K in diesem Beispiel 1 ist. In der Praxis können aber auch Werte über oder unter 1 verwendet werden. Die kombinierte spektrale Empfindlichkeit folgt im blauen Bereich der Kurve Oberflächennah1, ist aber im roten Bereich stark gedämpft, so dass eine kombinierte spektrale Empfindlichkeit resultiert, die im Wesentlichen auf blaues Licht beschränkt ist, d. h. eine Blauempfindlichkeit.

[0092] Es ist zu beachten, dass, wie zuvor erwähnt, bei Einbringen eines Infrarotfilters in den Weg des Lichtes vor der Pixelanordnung **12** die kombinierte Durchlässigkeit des ersten Magentafilters und des Infrarotfilters zwischen 650 nm +/– 20 nm und 700 nm abfällt. Bei Berücksichtigung des Infrarotfilters weist daher die spektrale Empfindlichkeit Oberflächennah1 ein Maximum um 650 +/– 20 nm auf, was im Wesentlichen eine Rotempfindlichkeit darstellt, allerdings eine stark gedämpfte mit einer maximalen Empfindlichkeit von nur 0,2.

[0093] Abb. 15 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines zweiten Magentafilters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge in Luft zeigt. Ähnlich wie in Abb. 13 für den ersten Magentafilter weist die Durchlässigkeit des zweiten Magentafilters zwei Maximumsbereiche auf, einen um die Wellenlänge von 450 nm („blaues Maximum") und einen um 650 nm („rotes Maximum"), sowie ein Minimum bei Wellenlängen zwischen 500 nm und 600 nm. Für Wellenlängen unter 410 nm fällt die Durchlässigkeit auf weniger als 10 der maximalen Durchlässigkeit des blauen Maximums ab.

[0094] Abb. 16 ist ein Diagramm, das die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden **100b** und oberflächennahen **100e** Photodiode in Verbindung mit dem zweiten Magentafilter sowie eine gewichtete Differenz dieser Empfindlichkeiten zeigt. Die spektrale Empfindlichkeit der oberflächennahen Photodiode **100e**, mit Oberflächennah2 bezeichnet, ist im blauen Bereich glockenförmig und weist ein Maximum zwischen 430 nm und 470 nm auf sowie ein Minimum bei Wellenlängen von etwa 550 nm. Die Kurve Oberflächennah2 weist im roten Bereich im Gegensatz zu Oberflächennah1 ein Maximum anstatt einer Schulter auf, was auf die integrierte Infrarot-Auslöschung der Durchlässigkeit des zweiten Rot-Filters zurückzuführen ist. Das Maximum der Kurve Oberflächennah2 im blauen Bereich ist etwa doppelt so hoch wie ihr Maximum im roten Bereich.

[0095] Die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden Photodiode **100b**, mit Tiefliegend2 bezeichnet, weist ähnlich wie die Kurve Oberflächennah2 eine Maximum im roten Bereich auf, zeigt aber im blauen Bereich nur eine vernachlässigbare Empfindlichkeit.

[0096] Die beiden Kurven Oberflächennah2 und Tiefliegend2 weisen ein Minimum der spektralen Empfindlichkeit um etwa 550 nm +/– 20 nm aufgrund des Minimums der Durchlässigkeit des zweiten Magentafilters in diesem Wellenlängenbereich auf.

[0097] Abb. 16 zeigt außerdem eine kombinierte spektrale Empfindlichkeit, die eine gewichtete Differenz von Oberflächennah2 und Tiefliegend2 ist – Oberflächennah2 – K Tiefliegend2 –, wobei der Gewichtungsfaktor K in diesem Beispiel 1 ist. In der Praxis können aber auch Werte über oder unter 1 verwendet werden. Die kombinierte spektrale Empfindlichkeit folgt im blauen Bereich der Kurve Oberflächennah2, ist aber im roten Bereich stark gedämpft, so dass eine spektrale Empfindlichkeit resultiert, die im Wesentlichen auf blaues Licht beschränkt ist, d. h. eine Blauempfindlichkeit.

[0098] Zu beachten ist, dass K in Abhängigkeit von der Höhe der spektralen Empfindlichkeiten Oberflächennah2 und Tiefliegend2 (oder analog Oberflächennah1 und Tiefliegend1 oben oder Oberflächennah3 und Tiefliegend3 unten) im roten Bereich so zu wählen ist, dass die kombinierte Empfindlichkeit für rotes Licht im Vergleich zu blauem Licht vernachlässigbar ist, d. h. dass das Verhältnis dieser Empfindlichkeiten 1:7 oder weniger beträgt. Obwohl K in den Beispielen oben 1 ist, kann in der Praxis auch eine andere Zahl verwendet werden, die größer oder kleiner als 1 ist. Obwohl außerdem in den obigen Beispielen kein Verstärkungsfaktor für die Signale von der oberflächennahen Photodiode gezeigt wird, können beide Signale (von der oberflächennahen und tiefliegenden Photodiode) jeweils eine entsprechende Verstärkung erfahren. Lediglich zur Vereinfachung der Darstellung wurde im obigen Beispiel der gemeinsame Verstärkungsfaktor entfernt, so dass das Signal der

oberflächennahen Photodiode eine Verstärkung von 1 hat. Mit anderen Worten kann der Faktor K im obigen Beispiel als ein Verhältnis der Verstärkungsfaktoren des Signals der tiefliegenden Photodiode und des Signals der oberflächennahen Photodiode angesehen werden.

Zweite Ausführungsform des Magenta-Pixels

[0099] Abb. 17 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer zweiten Ausführungsform **14b'** des Magenta-Pixels gemäß der vorliegenden Erfindung. Der oberflächennahe **65a** und tiefliegende **65b** erste Bereich der ersten Ausführungsform fehlen.

[0100] Abb. 18 zeigt ein vertikales Profil der Dotierungskonzentration der zweiten Ausführungsform **14b'** des Magenta-Pixels;

[0101] Abb. 19 zeigt eine Raumladungszone (über der oberen gepunkteten Linie im zwischenliegenden zweiten Bereich **54b**), die vom oberflächennahen zweiten Bereich **54a** ausgeht, und eine Raumladungszone (zwischen der unteren gepunkteten Linie im zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** und der oberen gepunkteten Linie im tiefliegenden zweiten Bereich **54c**), die vom tiefliegenden zweiten Bereich **54c** ausgeht, zwischen denen sich ein neutraler Bereich (mit „yyyyy" gekennzeichnet und durch die gepunktete obere und untere Linie im zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** begrenzt), die sich horizontal über den zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** erstreckt. Der neutrale Bereich kann während der Gesamtdauer einer Ladungsintegrationsphase der oberflächennahen **100e'** oder tiefliegenden **100b'** Photodiode oder beider aufrechterhalten werden. Dieser neutrale Bereich transportiert sämtliche Elektronen, die in ihn eintreten – entweder von einer Raumladungszone in der Nähe oder durch Absorption eines Photons im neutralen Bereich selbst –, zum Kontakt V_{sink}. Der neutrale Bereich dämpft außerdem die kapazitive Kopplung zwischen der oberflächennahen **100e'** und tiefliegenden **100b'** Photodiode durch Einschränkung der Verbindung zwischen den Raumladungszonen, die von ihrem jeweiligen zweiten Bereich **54a**, **54c** ausgehen, auf ein allenfalls schmales Band (gekennzeichnet durch „xxxxx") zwischen dem zwischenliegenden zweiten Bereich **54b** und dem Barrierebereich **64** rechts in Abb. 17.

Dritte Ausführungsform des Magenta-Pixels

[0102] Abb. 20 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer dritten Ausführungsform **14b"** des Magenta-Pixels gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0103] Das Magenta-Pixel **14b"** unterscheidet sich vom Magenta-Pixel **14b** insofern, als der zwischenliegende zweite Bereich **100f** und der tiefliegende erste Bereich **65b** fehlen. Daher kann ein tiefliegender zweiter Bereich **54d** einer tiefliegenden Photodiode **100b"** bei einer geringeren Tiefe beginnen, z. B. bei 1,7 µm, und sich nach unten in das Substrat **56** erstrecken. Obwohl der tiefliegende zweite Bereich **54d** in Abb. 20 dort beginnt, wo der erste Bereich **65a** endet, kann zwischen diesen zweiten Bereichen ein Spalt vorhanden sein und die Dotierungskonzentration und den Leitfähigkeitstyp des Substrats **56** aufweisen, da sich eine Raumladungszone vom oberflächennahen ersten Bereich **65a** über den Spalt bis in den tiefliegenden zweiten Bereich **54d** erstrecken wird. Diese Raumladungszone ist ausreichend, um ein elektrisches Feld aufzubauen, das Elektronen in den tiefliegenden zweiten Bereich **54d** befördert.

[0104] Der erste Bereich **65a** weist eine Netto-Dotierungskonzentration auf, die höher ist als die des Substrats, und befindet sich unmittelbar zwischen dem oberflächennahen zweiten Bereich **54a** und dem tiefliegenden zweiten Bereich **54d**. Der erste Bereich **65a** erhält die Trennung der Raumladungszonen aufrecht, die vom oberflächennahen zweiten Bereich **54a** bzw. tiefliegenden zweiten Bereich **54d** ausgehen, wenn ein Transferschalter **117e** (oder **117b**) in einem leitenden Zustand ist, um Ladungsträger entweder vom oberflächennahen zweiten Bereich **54a** oder vom tiefliegenden zweiten Bereich **54d** zu einem Abtastknoten **111"** (oder **111**) zu übertragen, der in einem Float-Zustand ist. Der erste Bereich **65a** erhält außerdem die Trennung der Raumladungszonen aufrecht, die vom oberflächennahen zweiten Bereich **54a** bzw. tiefliegenden zweiten Bereich **54d** ausgehen, während eine Ladungsintegration im oberflächennahen zweiten Bereich **54a**, im tiefliegenden zweiten Bereich **54d** oder in beiden stattfindet.

[0105] Abb. 21 zeigt ein vertikales Dotierungsprofil der dritten Ausführungsform des Magenta-Pixels **14b"**. „A" bezeichnet die Dotierungskonzentration des oberflächennahen zweiten Bereichs **54a**. „B" bezeichnet diejenige des oberflächennahen ersten Bereichs **65a**. „E" bezeichnet diejenige des tiefliegenden zweiten Bereichs **54d**. Jenseits von „E" folgt diejenige des Substrats **56**.

[0106] Abb. 22 ist ein Diagramm, das die Absorptionseffizienz von Photonen der tiefliegenden Photodiode **100b"** der dritten Ausführungsform und separat der oberflächennahen Photodiode **100e** der dritten Ausführungsform in Abhängigkeit von der Wellenlänge ungefilterten Lichts zeigt.

[0107] Die Absorptionseffizienz ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein von einem Photon einer bestimmten Wellenlänge (in Luft) erzeugter Ladungsträger von der Photodiode eingefangen wird. Wie in Abb. 22 gezeigt, ist die Absorptionseffizienz der oberflächennahen Photodiode **100e** im purpurblauen Bereich (Wellenlänge < 450 nm) am höchsten und nimmt ab 450 nm mit steigender Wellenlänge kontinuierlich bis et-

wa 0,2 im roten Bereich (Wellenlänge > 600 nm) ab. Bei der tiefliegenden Photodiode **100b"** dagegen ist die Absorptionseffizienz im roten Bereich bei Wellenlängen zwischen 550 nm und 650 nm am höchsten (etwa 0,5) und nimmt mit dem Fallen der Wellenlänge auf 450 nm kontinuierlich bis unter 0,05 ab.

[0108] Abb. 23 ist ein Diagramm, das die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden **100b"** und oberflächennahen **100e** Photodiode der dritten Ausführungsform in Verbindung mit dem ersten Magentafilter sowie eine kombinierte spektrale Empfindlichkeit, die eine gewichtete Differenz dieser Empfindlichkeiten darstellt, zeigt.

[0109] Die spektrale Empfindlichkeit der oberflächennahen Photodiode **100e**, mit Oberflächennah3 bezeichnet, ist im blauen Bereich glockenförmig und weist ein Maximum zwischen 430 nm und 470 nm auf sowie ein Minimum bei Wellenlängen von etwa 550 nm. Die Kurve Oberflächennah3 weist wie Oberflächennah1 aufgrund des Fehlens einer integrierten Infrarot-Auslöschung der Durchlässigkeit des ersten Rot-Filters eine Schulter im roten Bereich auf. Das Maximum der Kurve Oberflächennah3 im roten Bereich liegt etwa bei einem Viertel ihres Maximums im blauen Bereich.

[0110] Die spektrale Empfindlichkeit der tiefliegenden Photodiode **100b"**, mit Tiefliegend3 bezeichnet, weist eine Schulter im roten Bereich auf, die der der Kurve Oberflächennah3 ähnlich, aber doppelt so hoch ist. Im blauen Bereich weist die spektrale Empfindlichkeit ein schmales Maximum bei etwa 480 nm auf, das halb so hoch ist wie die Schulter.

[0111] Die beiden Kurven Oberflächennah3 und Tiefliegend3 weisen ein Minimum der spektralen Empfindlichkeit um etwa 550 nm +/– 20 nm aufgrund des Minimums der Durchlässigkeit des ersten Magentafilters in diesem Wellenlängenbereich auf.

[0112] Abb. 23 zeigt außerdem eine kombinierte spektrale Empfindlichkeit, die eine gewichtete Differenz von Oberflächennah3 und Tiefliegend3 ist – Oberflächennah3 – K Tiefliegend3 –, wobei der Gewichtungsfaktor K auf 0,5 festgelegt wurde. Die kombinierte spektrale Empfindlichkeit folgt im blauen Bereich nahezu der Kurve Oberflächennah3, ist aber im roten Bereich aufgrund der Festlegung von K stark gedämpft, so dass eine spektrale Empfindlichkeit resultiert, die im Wesentlichen auf blaues Licht beschränkt ist, d. h. eine Blauempfindlichkeit.

Rot-Pixel

[0113] Die Abb. 24–Abb. 27 beschreiben Ausführungsformen des Rot-Pixels **14d**.

[0114] Abb. 24 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer Ausführungsform eines Rot-Pixels **14d** gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Photodiode **100d** umfasst mehrere zweite Bereiche **54d**, **54e**, **54f**, die vertikal im Substrat **56** gestapelt und miteinander verbunden sind. Die zweiten Bereiche **54d**, **54e**, **54f** sind vom zweiten Leitfähigkeitstyp. Während der Ladungsintegration ist ein durchgängiger neutraler Bereich vorhanden, der sich über alle drei zweiten Bereiche erstreckt und diese verbindet. Der oberste zweite Bereich **54d** befindet sich unter einem an der Oberfläche liegenden ersten Bereich **63**, der verhindert, dass die Raumladungszone, die aus dem obersten zweiten Bereich **54d** hervorgeht, die Oberfläche des Substrats **56** erreicht, was zu hohen Verlustströmen führen würde. Von über dem Rot-Pixel **14d** einfallendes Licht wird durch den Rot-Filter **114R** gefiltert, wird durch die Lichtleiter **130**, **116** geleitet und tritt dann in die zweiten Bereiche **54d**, **54e**, **54f** ein.

[0115] Die zweiten Bereiche **54d**, **54e**, **54f** sind über einen verbindenden zweiten Bereich **55d** des zweiten Leitfähigkeitstyps mit dem Transferschalter **117d** elektrisch verbunden. Der Transferschalter **117d** umfasst das Gate **58d** und eine Drain-Diffusion (des zweiten Leitfähigkeitstyps, an der Oberfläche), die außerdem den Abtastknoten **111'** darstellt. Der Abtastknoten **111'** ist weiterhin mit dem Ausgangstransistor **116'** und dem Resetschalter **112'** (nur symbolisch dargestellt) verbunden.

[0116] Obwohl als ein Stapel von drei Bereichen gezeigt, kann der Stapel verbundener zweiter Bereiche auch vier, fünf oder mehr verbundene zweite Bereiche umfassen, die während einer Ladungsintegration über einen durchgängigen neutralen Bereich, der sich von innerhalb des untersten zweiten Bereichs bis zum obersten zweiten Bereich **54d** erstreckt, eine elektrische Verbindung untereinander aufrechterhalten. Der unterste zweite Bereich erreicht bevorzugt eine Tiefe zwischen 1,5 µm und 3 µm.

[0117] Die Barrierebereiche **64**, die sich jeweils auf einer Seite der zweiten Bereiche **54e**, **54f** befinden, weisen in ihrem Inneren jeweils einen neutralen Bereich auf, der verhindert, dass die Raumladungszone, sich sich seitlich von den zweiten Bereichen im Rot-Pixel **14d** bildet, in die Raumladungszone eines benachbarten Grün- **14a**, **14c** oder Magenta-Pixels **14b** übergeht.

[0118] Abb. 25 zeigt einen vertikalen Querschnitt einer alternativen Ausführungsform **14d'** eines Rot-Pixels gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Stapel der zweiten Bereiche **54d**, **54e**, **54f** wird durch einen zweiten Bereich **54d'** unmittelbar unter dem an der Oberfläche liegenden ersten Bereich **63** ersetzt. Der zweite Bereich **54d'** ist über einen verbindenden zweiten Bereich **55d'** mit dem Transferschalter **117d** verbunden. Diese Ausführungsform **14d'** kann

als gepinnte Photodiode so konstruiert und betrieben werden, dass während eines Resets, wenn sowohl der Transferschalter **117d** als auch der Resetschalter **112'** eingeschaltet sind, der zweite Bereich **54d'** und der verbindende zweite Bereich **55d'** vollständig an Elektronen verarmt werden. Der zweite Bereich **55d'** erreicht bevorzugt eine Tiefe im Substrat von nicht mehr als 1 µm, damit bei einer Sperrspannung von 3 V oder weniger an der Photodiode eine vollständige Verarmung sichergestellt ist. Die Barrierebereiche **64** erzeugen seitliche elektrische Felder, die Elektroden seitlich in Richtung des unter dem zweiten Bereich **54d** zentrierten Bereichs bewegen, so dass das Übersprechen zwischen den Pixeln reduziert wird.

[0119] Abb. 26 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines ersten Rot-Filters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge zeigt.

[0120] Abb. 27 ist ein Diagramm, das die Durchlässigkeit für Licht eines zweiten Rot-Filters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge zeigt.

Erzeugen eines Rot-Pixel-Werts für das Magenta-Pixel

[0121] Abb. 34 zeigt ein Blockdiagramm eines Kameraprozessors **212**. Der Prozessor **212** empfängt über die Bus-Schnittstelle **240** ein Mosaikbild, das von der Pixelanordnung **12** des Bildsensors erzeugt wurde. Bei der Bus-Schnittstelle **240** kann es sich um eine serielle Schnittstelle handeln, die jeweils ein Daten-Bit der vom Bildsensor **10** erzeugten Bilddaten empfängt, oder eine parallele Schnittstelle, die alle Daten-Bits eines Pixels gleichzeitig empfängt. Alternativ kann es sich um eine Hybrid-Schnittstelle handeln, die vom Bus **66** zwei oder mehr Bits eines Pixels zu einem Zeitpunkt empfängt und weitere ein oder mehr Bits des Pixels zu einem anderen Zeitpunkt. Die Mosaikbilddaten werden im Puffer **220** gespeichert. Der Prozessor kann über einen DMA-Controller verfügen, der die Übertragung der Mosaikbilddaten in und aus einem Speicher (nicht gezeigt) außerhalb des Prozessors **212** zur Speicherung großer Bilddatenmengen steuert. Der Puffer gibt Mosaikbilddaten an die Demosaikierungseinheit **222** aus. Die Demosaikierungseinheit **222** erzeugt für das Mosaikbild fehlende Farben. Eine Farbkorrektureinheit **224** führt an der farbinterpolierten Bildausgabe der Demosaikierungseinheit **222** eine Farbkorrektur durch. Der Kameraprozessor **212** kann eine Weißabgleich-Korrektureinheit (nicht gezeigt) umfassen, um den Weißabgleich des Bilds zu verbessern. Eine Bildkompressionseinheit **226** empfängt ein Farbbild und führt eine Bildkompression durch, um ein komprimiertes Bild mit einem reduzierten Bilddatenumfang zu produzieren. Das komprimierte Bild wird schließlich über einen Daten-Bus, der an einer Ausgangsschnittstelle **242** an den Kameraprozessor **212** angeschlossen ist, in einer Speichervorrichtung **216** gespeichert.

[0122] Anhand der Pixelanordnung **12** wird ein Mosaikbild erzeugt, das eine Mehrzahl von Rot-Bildpixeln, eine Mehrzahl von Grün-Bildpixeln und eine Mehrzahl von Magenta-Bildpixeln in einer Anordnung gemäß Abb. 5A oder Abb. 5B umfasst. Dieses Mosaikbild kann von dem in Abb. 34 gezeigten Prozessor **212** vom Bildsensor **10** über den Bus **66** und die Bus-Schnittstelle **240** empfangen und im Puffer **220** abgelegt und anschließend von der Demosaikierungseinheit **222** verarbeitet werden, um ein Vollfarbenbild zu rekonstruieren. Die Demosaikierungseinheit **222** gibt das Vollfarbenbild über den Bus **246** aus. In dem Mosaikbild verfügt jedes der Rot-Bildpixel über einen Rot-Pixelwert, aber keinen Blau- oder Grün-Pixelwert. Jedes der Grün-Bildpixel verfügt über einen Grün-Pixelwert, aber keinen Blau- oder Rot-Pixelwert. Jedes der Magenta-Bildpixel verfügt über einen Photodioden-Wert, der anhand einer entsprechenden oberflächennahen Photodiode **100e** erzeugt wird, und einen Photodioden-Wert, der anhand einer entsprechenden tiefliegenden Photodiode **100b** erzeugt wird. Der Wert der oberflächennahen Photodiode ist stark blauempfindlich. Der Wert der tiefliegenden Photodiode weist eine spektrale Empfindlichkeit überwiegend für den roten Bereich auf, die weniger als halb so stark ist wie die des Rot-Bildpixelwerts. Zur Rekonstruktion eines Vollfarbenbilds aus dem Mosaikbild können in der Demosaikierungseinheit **222** Farbinterpolationsverfahren eingesetzt werden, um Rot- und Blau-Bildpixelwerte für die Grün-Bildpixel und Blau- und Grün-Bildpixelwerte für die Rot-Bildpixel zu erzeugen.

[0123] Für das Magenta-Bildpixel kann der Blau-Bildpixelwert von der Demosaikierungseinheit **222** durch eine gewichtete Differenz des Signals der oberflächennahen Photodiode und des Signals der tiefliegenden Photodiode erzeugt werden, wie oben im Zusammenhang mit der Erzeugung der kombinierten Signale Oberflächennah1 – K Tiefliegend1, Oberflächennah2 – K Tiefliegend2 und Oberflächennah3 – K Tiefliegend3 besprochen, wobei K so gewählt wird, dass das kombinierte Signal eine vernachlässigbare Rotempfindlichkeit zeigt. Alternativ kann das so gebildete kombinierte Signal, das überwiegend eine Blauempfindlichkeit und eine vernachlässigbare Rotempfindlichkeit zeigt, im Bildsensor **10** gebildet und dem Prozessor **212** anstelle des Signals der oberflächennahen Photodiode bereitgestellt werden.

[0124] Die Erzeugung eines Rot-Bildpixelwerts für das Magenta-Bildpixel allein anhand eines Signals D der tiefliegenden Photodiode, das von einer tiefliegenden Photodiode **100b** erzeugt wird, ist auf der anderen Seite mit erheblichen Nachteilen verbunden. Dieses Vorgehen würde dazu führen, dass das resultierende Vollfarbenbild im roten Kanal unter Ungleichmäßigkeiten zwischen den Pixeln leidet, die durch Unterschiede in der spektralen Empfindlichkeit der Photodiode **100d** des Rot-Pixels und der tiefli-

genden Photodiode **100b** des Magenta-Pixels entstehen. Darüber hinaus weist die tiefliegende Photodiode **100b** im roten Bereich eine weitaus schwächere Maximalempfindlichkeit auf als die Photodiode **100d** des Rot-Pixels, was zu einem schlechteren Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) des Signals D der tiefliegenden Photodiode führt. Es ist jedoch auch nicht zweckmäßig, den Rot-Pixelwert für das Magenta-Bildpixel durch Interpolation anhand benachbarter Rot-Bildpixel (und möglicherweise auch benachbarter Grün-Pixel) zu erzeugen, ohne das Signal der tiefliegenden Photodiode zu berücksichtigen.

[0125] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Erzeugung eines Rot-Pixelwerts R für das Magenta-Pixel mit Hilfe des Signals D der tiefliegenden Photodiode angegeben, das nicht die oben genannten Nachteile aufweist.

[0126] Die Abb. 28–Abb. 33 beschreiben, wie ein Rot-Pixelwert für das Magenta-Pixel **14b**, **14b'**, **14b''** erzeugt werden kann.

[0127] Zu beachten ist, dass für den Fall, dass eine Farbinterpolation (d. h. Demosaikierung) anhand der (dem Magenta-Pixel) benachbarten Bildpixel im Mosaikbild zu einem interpolierten Rot-Pixelwert Y für das Magenta-Pixel (das dem Magenta-Pixel **14b** in der Pixelanordnung **12** entspricht) führt, der ausreichend nahe bei einem allein anhand des Signals D der tiefliegenden Photodiode erzeugten Rot-Pixelwerts liegt, die Auswahl oder Bevorzugung des interpolierten Rot-Pixelwerts Y zweckmäßig ist, da das resultierende Signal-Rausch-Verhältnis und die Farbgleichmäßigkeit besser sind und da die Unterschiede zwischen den beiden Rot-Pixelwerten mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Rauschen aufgrund der Notwendigkeit einer Verstärkung des Signals der tiefliegenden Photodiode, das schwach ist, entlang dem Übertragungsweg von der tiefliegenden Photodiode **100b** zurückzuführen sind.

[0128] Außerdem ist zu beachten, dass dann, wenn zwei (oder mehr) mögliche interpolierte Rot-Pixelwerte Y und Z für das Magenta-Pixel vorhanden sind, sofern der alleine anhand des Signals D der tiefliegenden Photodiode erzeugte Rot-Pixelwert ausreichend nahe bei einem der interpolierten Rot-Pixelwerte liegt, der am nächsten liegende interpolierte Rot-Pixelwert gewählt (oder bevorzugt) werden sollte, da der Unterschied wieder mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Rauschen zurückzuführen ist.

[0129] Weiterhin ist zu beachten, dass andererseits dann, wenn keiner der interpolierten Rot-Pixelwerte ausreichend nahe liegt, der alleine anhand des Signals D der tiefliegenden Photodiode erzeugte Rot-Pixelwert ausgewählt (oder bevorzugt) werden sollte.

[0130] Bei allen oben angeführten zu beachteten Punkten wird ein interpolierter Rot-Pixelwert Y (oder Z) dann als ausreichend nahe an dem Rot-Pixelwert, der alleine anhand des Signals D der tiefliegenden Photodiode erzeugt wird, angesehen, wenn die Differenz zwischen den Werten nicht ein vorgegebenes Vielfaches der Rausch-Standardabweichung σ_D des Letzteren übersteigt. Beispielsweise kann das Vielfache 2,5 betragen, so dass ein interpolierter Rot-Pixelwert entweder ausgewählt oder bevorzugt wird (z. B. bei der Bildung eines gewichteten Mittelwerts zur Erzeugung des Rot-Pixelwerts für das Magenta-Pixel eine höhere Gewichtung erhält), wenn der Rot-Pixelwert nicht um mehr als das 2,5-Fache von σ_D vom Signal D der tiefliegenden Photodiode abweicht, und im gegenteiligen Fall entweder nicht ausgewählt oder mit geringerer Präferenz behandelt wird (z. B. bei der Bildung eines gewichteten Mittelwerts eine geringere Gewichtung erhält). Zu beachten ist, dass die Rausch-Standardabweichung σ_D eine Funktion des Signals D der tiefliegenden Photodiode und der Verstärkung entlang dem Übertragungsweg des Signals D der tiefliegenden Photodiode sein kann.

[0131] Mit anderen Worten sollte der erzeugte Rot-Pixelwert R für das Magenta-Pixel dem Signal D der tiefliegenden Photodiode weniger genau folgen, wenn das Signal D der tiefliegenden Photodiode alleine auf einen Rot-Pixelwert, der ausreichend nahe an einem interpolierten Rot-Pixelwert Y liegt, hinweist, aber im gegenteiligen Fall dem Signal D der tiefliegenden Photodiode genauer folgen.

[0132] Was die messbaren Eingangs-/Ausgangsparameter der Demosaikierungseinheit **222** angeht, ist der erzeugte Rot-Pixelwert R des Magenta-Pixels beim Verfahren dieses Aspekts der vorliegenden Erfindung eine Funktion von zumindest dem Signal D der tiefliegenden Photodiode und einem Rot-Pixelwert eines benachbarten Rot-Bildpixels, so dass eine Ableitung des erzeugten Rot-Pixelwerts R des Magenta-Pixels nach dem Signal D der tiefliegenden Photodiode wenigstens ein Minimum aufweist. In der Nähe dieses Minimums variiert der erzeugte Rot-Pixelwert für das Magenta-Pixel weniger in Abhängigkeit vom Signal D der tiefliegenden Photodiode (d. h. folgt dem Signal D der tiefliegenden Photodiode weniger genau) als weiter von diesem Minimum entfernt. Aufgrund dieses Minimums empfängt der erzeugte Rot-Pixelwert R bei und in der Nähe des Minimums weniger Rauschen von der tiefliegenden Photodiode. Darüber hinaus wird der erzeugte Rot-Pixelwert R aufgrund dieses Minimums bei und in der Nähe des Minimums stärker durch den interpolierten Rot-Pixelwert Y „kontrolliert", was zu einer geringeren Anfälligkeit für Unterschiede zwischen der spektralen Empfindlichkeit der tiefliegenden Photodiode **100b** und derjenigen der benachbarten Rot-Pixel-Photodioden **100d** führt. Die Position dieses Minimums innerhalb des Bereichs des Signals D der tiefliegenden Pho-

todiode sollte eine Funktion sein von (d. h. variieren in Abhängigkeit von) wenigstens einem Rot-Pixelwert eines benachbarten Rot-Bildpixels im Mosaikbild.

[0133] Anders betrachtet beschreibt der erzeugte Rot-Pixelwert R für das Magenta-Pixel beim Verfahren dieses Aspekts der vorliegenden Erfindung, wenn er über dem Signal D der tiefliegenden Photodiode aufgetragen wird, eine Kurve, die einen flacheren Abschnitt (z. B. **Abb. 29**, Signal R, zwischen den R-Werten **120** und **130**) für einen bestimmten Wertebereich des erzeugten Rot-Pixelwerts R aufweist, so dass der flachere Abschnitt flacher ist als die Gesamtkurve. Mit anderen Worten sollte der erzeugte Rot-Pixelwert R in dem flachen Abschnitt eine Ableitung haben, die kleiner ist als ein durchschnittlicher Gradient der Kurve insgesamt. In diesem Abschnitt „widerstrebt" der erzeugte Rot-Pixelwert R einer Änderung mit dem Signal D der tiefliegenden Photodiode. Darüber hinaus sollte die Position dieses flacheren Abschnitts innerhalb des gesamten Bereichs möglicher Rot-Pixelwerte eine Funktion von zumindest einem Rot-Pixelwert eines (dem Magenta-Bildpixel) benachbarten Rot-Bildpixels sein. Die Position kann ebenfalls eine Funktion des Grün-Pixelwerts eines benachbarten Grün-Bildpixels sein.

[0134] Dieses Verfahren wird unten anhand zweier Beispiele veranschaulicht. Zur Vereinfachung der Darstellung wird der Rot-Pixelwert, der alleine anhand des Signals D der tiefliegenden Photodiode erzeugt würde, als das Signal D der tiefliegenden Photodiode selbst betrachtet, wobei angenommen wird, dass D so verstärkt wurde, dass seine Maximalempfindlichkeit im roten Bereich gleich oder beinahe gleich derjenigen des Rot-Pixelwerts ist (und somit ein mehrfach höheres Rauschen aufweist als Letzteres). Es wird außerdem wiederum zur Vereinfachung der Darstellung angenommen, dass die Vorverzerrung (z. B. Gamma-Vorverzerrung) für das Signal D der tiefliegenden Photodiode so durchgeführt wurde, dass ein linearer Zusammenhang zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode und dem Rot-Pixelwert, der alleine anhand des Signals D der tiefliegenden Photodiode erzeugt würde, resultiert.

[0135] **Abb. 28** ist ein Diagramm, dass eine Variation einer beispielhaften Gewichtung w_D für das Signal D der tiefliegenden Photodiode in Abhängigkeit von beta zeigt, wobei beta ein Verhältnis einer Differenz zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode und einem interpolierten Signal Y, das unabhängig vom Signal D der tiefliegenden Photodiode ist, zu einem Vielfachen der Standardabweichung des Rauschens im Signal D der tiefliegenden Photodiode misst. (beta = $1/a \cdot |Y - D|/\sigma_D$, wobei $a \geq 1$).

[0136] Als ein erstes Beispiel wird die in **Abb. 28** gezeigte Gewichtung w_D auf das Signal D der tiefliegenden Photodiode angewandt, während $(1 - w_D)$ auf den interpolierten Rot-Pixelwert Y angewandt wird. Das heißt, $R = w_D \cdot D + (1 - w_D) \cdot Y$, wobei R der erzeugte Rot-Pixelwert für das Magenta-Pixel ist. Es wird angenommen, dass für das Magenta-Bildpixel nur ein einziger interpolierter Rot-Pixelwert für die gegebenen Pixelwerte der benachbarten Bildpixel existiert. **Abb. 29** ist ein Diagramm, das einen Zusammenhang zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode und dem erzeugten Rot-Pixelsignal R für das Magenta-Bildpixel zeigt. Der interpolierte Rot-Pixelwert Y ist auf 125 festgelegt. $\cdot\sigma_D$ ist 20. Das Signal D der tiefliegenden Photodiode wird variiert. Dieses Diagramm zeigt, dass der für das Magenta-Bildpixel erzeugte Rot-Pixelwert R sich dem interpolierten Wert Y, also 125, annähert, wenn $|Y - D|$ kleiner als 15 ist (so dass beta = $1/a \cdot |Y - D|/\sigma_D < 0{,}75$ wird), aber andernfalls stärker in Abhängigkeit vom Signal D der tiefliegenden Photodiode variiert. In Bezug auf die Gewichtung w_D gemäß der Darstellung im Diagramm von **Abb. 28** kann dies wie folgt verstanden werden. Wenn beta unter 0,75 fällt, reduziert sich der Beitrag des Signals D der tiefliegenden Photodiode zum erzeugten Rot-Pixelwert des Magenta-Bildpixels und nähert sich 0,3 an, während der Beitrag des interpolierten Pixelwerts Y ansteigt und sich 0,7 annähert.

[0137] **Abb. 30** ist ein Diagramm, das eine Ableitung des Rot-Pixelsignals R von **Abb. 29** nach dem Signal D der tiefliegenden Photodiode zeigt. Die Ableitung hat ein Minimum von 0,4 bei D = 125. In großer Entfernung von dem Minimum, z. B. bei $D > 160$ oder $D < 100$, nimmt die Ableitung einen im Wesentlichen konstanten, höheren Wert von 1 an. Zu beachten ist, dass sich die Ableitung am oberen Ende des Bereichs des Rot-Pixelwerts Y allmählich wieder reduzieren würde, wenn das Signal D der tiefliegenden Photodiode, das von der Demosaikierungseinheit **222** empfangen wird, nicht vorverzerrt ist, während der erzeugte Rot-Pixelwert vorverzerrt werden muss. Zu beachten ist weiterhin, dass die Ableitung einen anderen Wert als 1 annehmen kann, wenn das Signal D der tiefliegenden Photodiode, das von der Demosaikierungseinheit **222** empfangen wird, nicht vorverstärkt wird, um seine spektrale Empfindlichkeit im roten Bereich an den Rot-Pixelwert der Rot-Pixel anzupassen, oder wenn die Pixelwertsignale des Mosaikbilds einen anderen Bereich belegen als die rekonstruierte Vollfarbenbildausgabe der Demosaikierungseinheit **222**.

[0138] Als ein zweites Beispiel beschreiben **Abb. 31** bis **Abb. 33**, wie verschiedene interpolierte Werte, Y und Z, gemeinsam mit dem Signal D der tiefliegenden Photodiode verwendet werden können, um den Rot-Pixelwert R für das Magenta-Pixel zu erzeugen. In diesem Beispiel hat Y den Wert 165, Z den Wert 135 und σ_D den Wert 20.

[0139] Abb. 31 ist ein Diagramm, das einen Zusammenhang zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode, einem ersten Rot-Pixelsignal RY und einem zweiten Rot-Pixelsignal RZ zeigt. Das erste Rot-Pixelsignal RY zeigt, wie sich der erzeugte Rot Pixelwert für das Magenta-Bildpixel bei einem gegebenen Satz von Pixelwerten benachbarter Pixel des Magenta-Bildpixels verhalten würde, wenn wie im ersten Beispiel nur ein interpolierter Pixelwert berücksichtigt wird, wobei der interpolierte Pixelwert Y ist. Das zweite Rot-Pixelsignal RZ ist andererseits für Z. Dieses Diagramm zeigt, dass RY und RZ in der Nähe von Y bzw. Z einer Änderung „widerstreben".

[0140] Gemäß diesem Aspekt der Erfindung sollte der erzeugte Rot-Pixelwert jedoch ein solches „Widerstreben" (d. h. einen flacheren Abschnitt) an zwei Stellen aufweisen. Dies kann erreicht werden, indem der Rot-Pixelwert R gemäß dem folgenden Ausdruck gebildet wird:

$$R = w_{DY} \cdot w_{DZ} \cdot D + (1 - w_{DY} \cdot w_{DZ}) \cdot [(1 - w_{DY}) \cdot Y + (1 - w_{DZ}) \cdot Z] / (2 - w_{DY} - w_{DZ}).$$

[0141] Dabei ist w_{DY} die Funktion w_D aus Abb. 28, wobei das interpolierte Signal Y ist, und w_{DZ} die Funktion w_D aus Abb. 28, wobei das interpolierte Signal Z ist.

[0142] Abb. 32 ist ein Diagramm, das einen Zusammenhang zwischen dem Signal D der tiefliegenden Photodiode und dem erzeugten Rot-Pixelsignal R zeigt. Es weist zwei unterschiedliche flachere Abschnitte auf. Ein unterer flacherer Abschnitt ist zwischen den Rot-Werten **130** und **140** zu erkennen. Ein oberer flacherer Abschnitt ist zwischen den Rot-Werten **160** und **170** zu erkennen. Es ist klar, dass das Rauschen von der tiefliegenden Photodiode **100b** innerhalb dieser beiden flacheren Abschnitte im Vergleich zu den übrigen Bereichen gedämpft ist, da der erzeugte Rot-Pixelwert R innerhalb dieser flacheren Abschnitte weniger in Abhängigkeit vom Signal D der tiefliegenden Photodiode variiert als außerhalb.

[0143] Abb. 33 ist ein Diagramm, das eine Ableitung des Rot-Pixelsignals R von Abb. 28 nach dem Signal D der tiefliegenden Photodiode zeigt. Die Ableitung erreicht jeweils ein Minimum von 0,4 bei Werten des Signals D der tiefliegenden Photodiode von etwa 135 und 170.

Erzeugen eines Blau-Pixelwerts für das Magenta-Pixel

[0144] Ein einfaches Verfahren zur Erzeugung eines Blau-Pixelwerts für das Magenta-Pixel wurde oben in Bezug auf Abb. 14 beschrieben. Es umfasst die Bildung einer gewichteten Differenz zwischen dem Signal der oberflächennahen Photodiode und dem Signal der tiefliegenden Photodiode.

[0145] Bei einer alternativen Ausführungsform kann der Blau-Pixelwert durch Ersetzen des Signals der tiefliegenden Photodiode mit dem Rot-Pixelsignal R gebildet werden.

Abschließende Bemerkungen

[0146] Obwohl sich die Demosaikierungseinheit **222** gemäß Abb. 34 im Prozessor **212** befindet, kann sie in einer alternativen Ausführungsform Teil des Bildsensors **10** sein, digitalisierte Bilddaten, die von der Pixelanordnung **12** erzeugt werden, über den Ausgangsbus **66** des ADC **24** empfangen und das rekonstruierte Vollfarbenbild über einen anderen Bus ausgeben.

[0147] Die Demosaikierungseinheit **222** kann nur den Rot-Pixelwert R für Magenta-Pixel erzeugen, anstatt alle fehlenden Farben für alle Grün-, Rot- und Magenta-Pixel zu erzeugen. Sie kann stattdessen die erzeugten Rot-Pixelwerte von Magenta-Pixeln über einen Bus bereitstellen, während eine andere Demosaikierungsschaltung eine oder mehrere der anderen fehlenden Farben erzeugt. Letztendlich werden alle erzeugten fehlenden Farben mit den Farben des Mosaikbilds zusammengeführt, um ein Vollfarbenbild zu erzeugen.

[0148] Obwohl das rekonstruierte Vollfarbenbild gemäß Abb. 34 an eine Farbkorrektureinheit **224** gesendet wird, können auch andere Modifikationen nach dem Stand der Technik vorgesehen werden. Beispielsweise können die erzeugten Rot-Pixelwerte für Magenta-Pixel in einer Speichervorrichtung **216** gespeichert und anschließend mit den anderen Farben (einschließlich der anderen fehlenden Farben des Mosaikbilds) durch eine Recheneinrichtung zusammengeführt werden, um ein rekonstruiertes Vollfarbenbild zu bilden.

[0149] Ein nichtflüchtiger Speicher, der sich außerhalb des Kameraprozessors **212** befinden oder ein Teil dieses sein kann, z. B. der in Abb. 34 gezeigte Nur-Lese-Speicher (Read-Only Memory, ROM) **228** kann Anweisungen speichern, so dass die Demosaikierungseinheit **222** gemäß einem oder allen der in dieser Offenbarung beschriebenen Verfahren arbeitet.

[0150] Es wird darauf hingewiesen, dass zwar bestimmte beispielhafte Ausführungsformen beschrieben und in den zugehörigen Zeichnungen dargestellt wurden, diese aber lediglich illustrativen Zwecken dienen und die Interpretation der Erfindung nicht einschränken, und dass diese Erfindung nicht auf die speziellen Konstruktionsweisen und Anordnungen beschränkt ist, die beschrieben und dargestellt wurden, da ein Fachmann verschiedene Modifikationen ableiten kann.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 7233350 [**0054**]

Patentansprüche

1. Eine Bildsensorpixelanordnung, die von einem Halbleitersubstrat eines ersten Leitfähigkeitstyps getragen wird, umfassend:
ein Paar von Grünfiltern, die in einer ersten Richtung angeordnet sind;
einen Rotfilter, der an beide Grünfilter des Paars angrenzt; und
einen Magentafilter, der an beide Grünfilter des Paars angrenzt und sich auf einer dem Rotfilter gegenüberliegenden Seite des Paars befindet.

2. Bildsensorpixelanordnung nach Anspruch 1, weiterhin umfassend:
einen oberflächennahen zweiten Bereich eines zweiten Leitfähigkeitstyps im Substrat; und
einen tiefliegenden zweiten Bereich des zweiten Leitfähigkeitstyps unter dem oberflächennahen zweiten Bereich.

3. Bildsensorpixelanordnung nach Anspruch 2, wobei ein erster Bereich, der den ersten Leitfähigkeitstyp und eine Netto-Dotierungskonzentration aufweist, die höher ist als eine Substrat-Dotierungskonzentration des Substrats, sich zwischen dem oberflächennahen zweiten Bereich und dem tiefliegenden zweiten Bereich befindet.

4. Bildsensorpixelanordnung nach Anspruch 3, wobei der erste Bereich eine Trennung der Raumladungszonen, die von dem oberflächennahen zweiten Bereich bzw. dem tiefliegenden zweiten Bereich ausgehen, zu einem Zeitpunkt aufrechterhält, während eine Ladungsintegration im oberflächennahen zweiten Bereich, im tiefliegenden zweiten Bereich oder in beiden stattfindet.

5. Bildsensorpixelanordnung nach Anspruch 3, wobei der erste Bereich eine Trennung der Raumladungszonen, die von dem oberflächennahen zweiten Bereich bzw. dem tiefliegenden zweiten Bereich ausgehen, zu einem Zeitpunkt aufrechterhält, während ein Transferschalter in einem leitenden Zustand ist, um Ladungsträger entweder vom oberflächennahen zweiten Bereich oder vom tiefliegenden zweiten Bereich zu einem Abtastknoten zu übertragen, der in einem Float-Zustand ist.

6. Bildsensorpixelanordnung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei sich kein anderer Bereich des zweiten Leitfähigkeitstyps vertikal über dem oberflächennahen zweiten Bereich oder vertikal unter dem tiefliegenden zweiten Bereich befindet.

7. Bildsensorpixelanordnung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, weiterhin umfassend:
einen zwischenliegenden zweiten Bereich, der zwischen dem oberflächennahen zweiten Bereich und dem tiefliegenden zweiten Bereich angeordnet ist.

8. Bildsensorpixelanordnung nach Anspruch 7, wobei der zwischenliegende zweite Bereich elektrisch zu einem Zeitpunkt auf einem Potential gehalten wird, während eine Ladungsintegration im oberflächennahen zweiten Bereich, im tiefliegenden zweiten Bereich oder in beiden stattfindet.

9. Bildsensorpixelanordnung gemäß Anspruch 8, wobei der zwischenliegende zweite Bereich durch Ansteuerung über eine Treiberschaltung elektrisch angesteuert wird.

10. Bildsensorpixelanordnung gemäß Anspruch 8, wobei der zwischenliegende zweite Bereich durch eine Verbindung mit einer Spannungsquelle elektrisch angesteuert wird.

11. Bildsensorpixelanordnung nach Anspruch 7, wobei der zwischenliegende zweite Bereich zu einem Zeitpunkt elektrisch auf einem Potential gehalten wird, während ein Transferschalter in einem leitenden Zustand ist, um Ladungsträger entweder vom oberflächennahen zweiten Bereich oder vom tiefliegenden zweiten Bereich zu einem Abtastknoten zu übertragen, der in einem Float-Zustand ist.

12. Bildsensorpixelanordnung gemäß Anspruch 11, wobei der zwischenliegende zweite Bereich durch Ansteuerung über eine Treiberschaltung elektrisch angesteuert wird.

13. Bildsensorpixelanordnung gemäß Anspruch 11, wobei der zwischenliegende zweite Bereich durch eine Verbindung mit einer Spannungsquelle elektrisch angesteuert wird.

14. Verfahren zur Bildung eines Farbbilds aus einem Mosaikbild, das ein Rot-Bildpixel und ein Magenta-Bildpixel umfasst, wobei das Rot-Bildpixel über ein erstes Signal verfügt, das eine erste im Wesentlichen auf den roten Bereich beschränkte spektrale Empfindlichkeit aufweist, und das Magenta-Pixel über ein zweites Signal verfügt, das eine zweite im Wesentlichen auf den roten Bereich beschränkte spektrale Empfindlichkeit aufweist, umfassend:
Erzeugen eines dritten Signals als eine Funktion von zumindest dem ersten und zweiten Signal, um die rote Farbe für das Magenta-Pixel darzustellen.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei ein Betrag einer Ableitung des dritten Signals nach dem zweiten Signal ein Minimum aufweist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei eine Position des Minimums innerhalb eines Bereichs des zweiten Signals in Abhängigkeit vom ersten Signal variiert.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, wobei der Betrag zwischen dem Minimum und der Position,

wo der Betrag am größten ist, um mindestens den Faktor 2 variiert.

18. Verfahren nach Anspruch 15, wobei eine Ableitung des dritten Signals nach dem ersten Signal größer ist, wenn das zweite Signal das Minimum erreicht, als wenn das zweite Signal in einem anderen Zustand ist.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, wobei das Magenta-Bildpixel weiterhin über ein viertes Signal verfügt, das eine im Wesentlichen auf den Magenta-Bereich beschränkte spektrale Empfindlichkeit aufweist, weiterhin umfassend:
Subtrahieren eines ersten Vielfachen des zweiten Signals von einem zweiten Vielfachen des vierten Signals zur Bildung eines fünften Signals, um die blaue Farbe für das Magenta-Bildpixel darzustellen.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, wobei das Magenta-Bildpixel weiterhin über ein viertes Signal verfügt, das eine im Wesentlichen auf den Magenta-Bereich beschränkte spektrale Empfindlichkeit aufweist, weiterhin umfassend:
Subtrahieren eines ersten Vielfachen des dritten Signals von einem zweiten Vielfachen des vierten Signals zur Bildung eines fünften Signals, um die blaue Farbe für das Magenta-Bildpixel darzustellen.

21. Kameraprozessor, umfassend:
eine Demosaikierungseinheit, die das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 14 bis 20 am Mosaikbild durchführt, um das Farbbild zu erzeugen;
eine Eingangsschnittstelle, die zum Empfangen von Bilddaten des Mosaikbilds von einem Bildsensor konfiguriert ist.

22. Nichtflüchtiges Computerdaten-Speichermedium, das computerausführbare Anweisungen enthält, bei deren Ausführung durch eine Recheneinrichtung die Recheneinrichtung veranlasst wird, das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 14 bis 20 durchzuführen.

23. Bilderfassungsvorrichtung, umfassend:
eine Linse;
eine Bildsensorpixelanordnung nach Anspruch 1, die Licht durch die Linse empfängt;
und
ein Demosaikierungsmittel zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 14 bis 20 am Mosaikbild, um das Farbbild zu erzeugen, wobei das Mosaikbild anhand der Bildsensorpixelanordnung erzeugt wird.

Es folgen 20 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

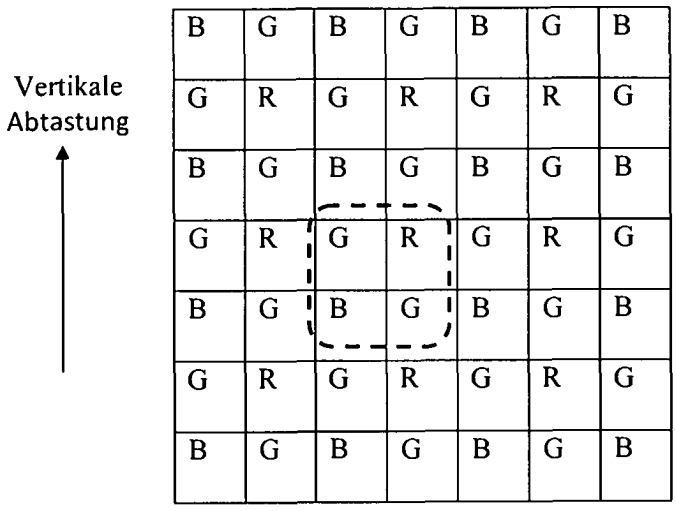


ABB. 1A (Stand der Technik)

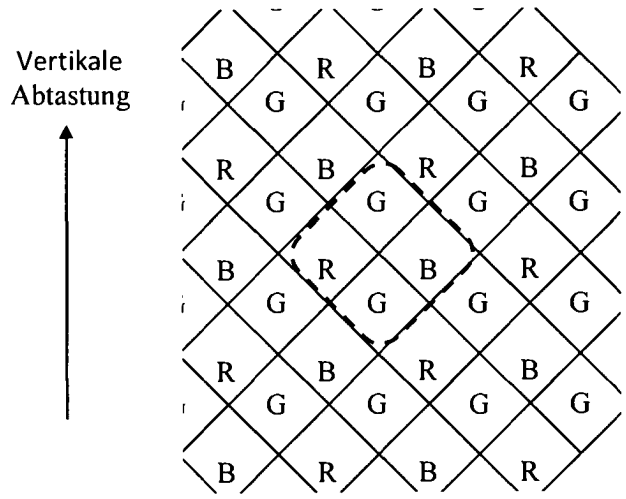


ABB. 1B (Stand der Technik)

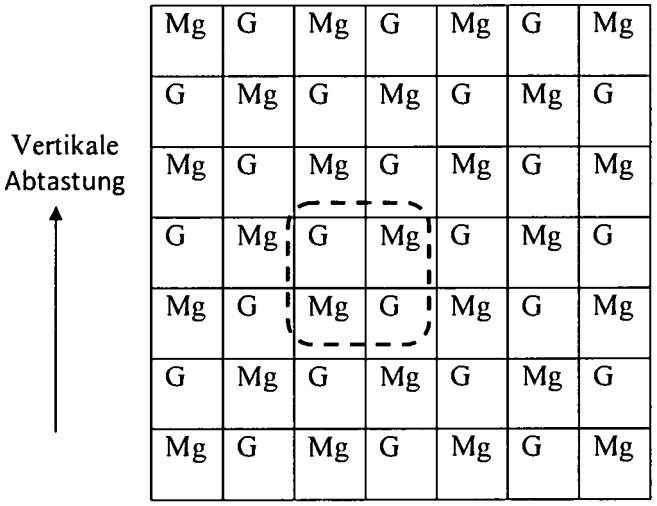


ABB. 2A (Stand der Technik)

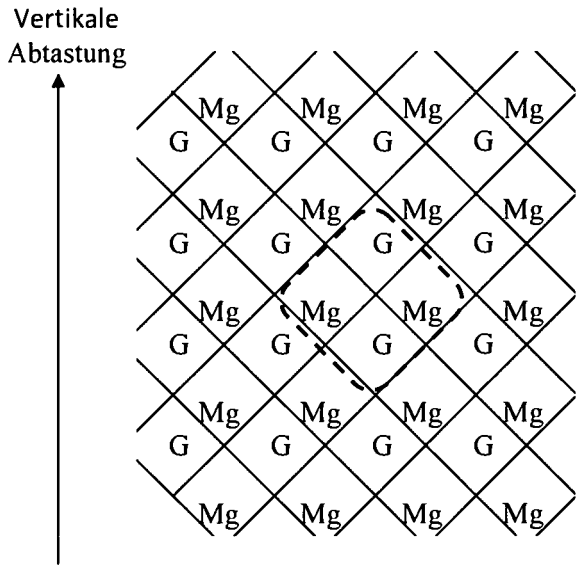


ABB. 2B (Stand der Technik)

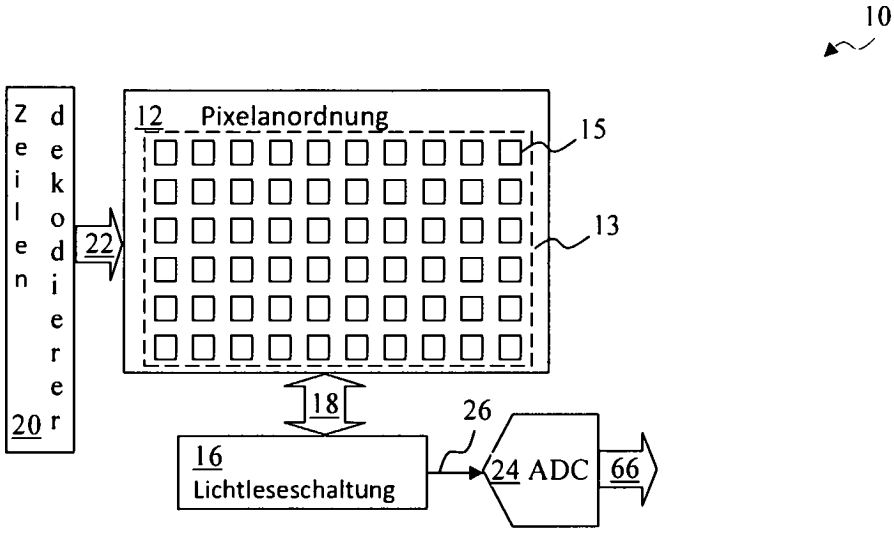

10
Zeilen dekodierer
20
22
12 Pixelanordnung
15
13
18
26
16
Lichtleseschaltung
24 ADC
66

ABB. 3

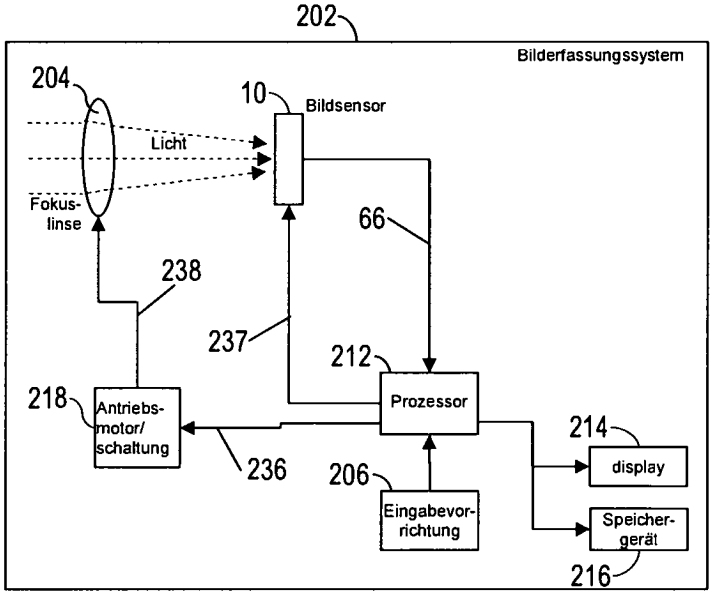

202
Bilderfassungssystem
204
10
Bildsensor
Licht
Fokus-
linse
66
238
237
212
Prozessor
218
Antriebs-
motor/
schaltung
236
214
display
206
Eingabevor-
richtung
Speicher-
gerät
216

ABB. 4

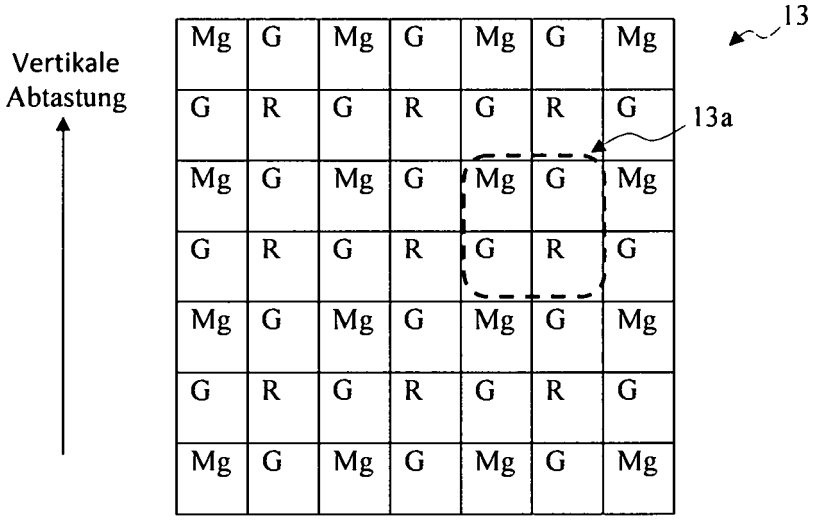

Vertikale
Abtastung
13
13a
Mg G Mg G Mg G Mg
G R G R G R G
Mg G Mg G Mg G Mg
G R G R G R G
Mg G Mg G Mg G Mg
G R G R G R G
Mg G Mg G Mg G Mg

ABB. 5A

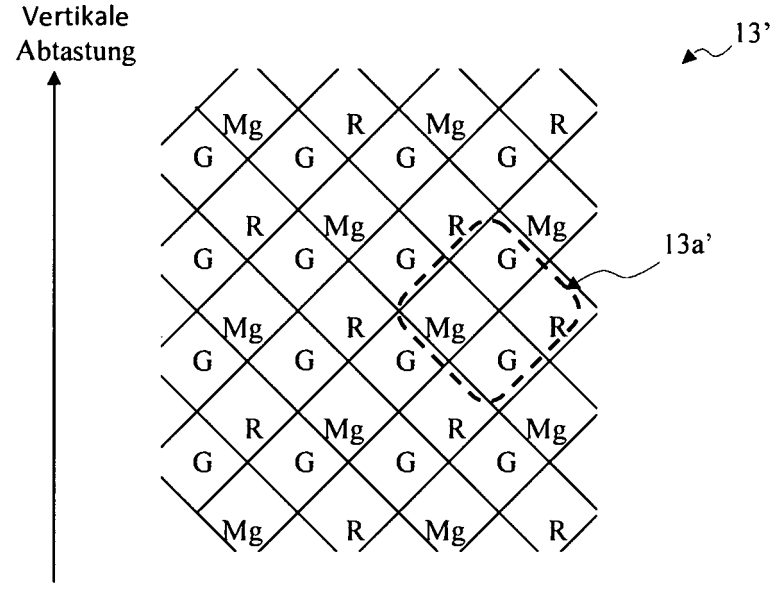

Vertikale
Abtastung
13'
13a'
Mg R Mg R
G G G G
R Mg R Mg
G G G G
Mg R Mg R
G G G G
R Mg R Mg
G G G G
Mg R Mg R

ABB. 5B

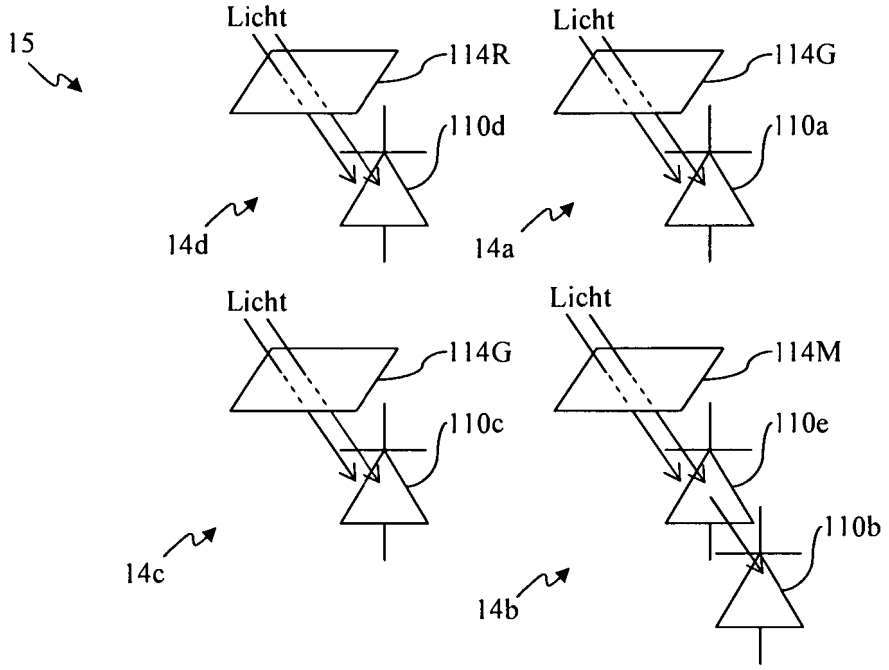

15
Licht
114R
110d
14d
Licht
114G
110a
14a
Licht
114G
110c
14c
Licht
114M
110e
110b
14b

ABB. 6

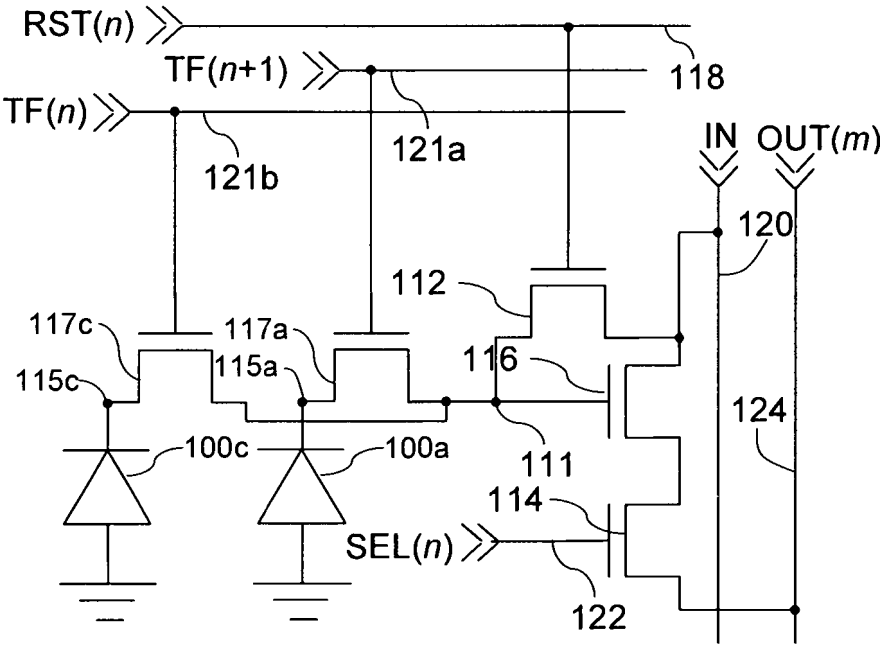

RST(n)
TF(n+1)
TF(n)
118
121a
121b
IN
OUT(m)
120
112
117c
117a
115a
116
115c
124
100c
100a
111
114
SEL(n)
122

ABB. 7A

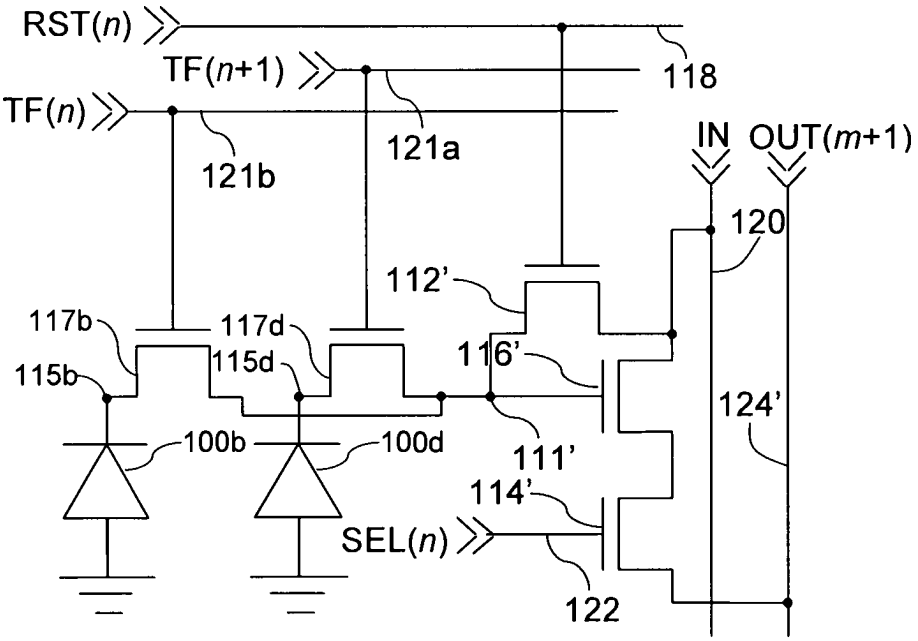

RST(n)
TF(n+1)
TF(n)
118
121a
121b
IN
OUT(m+1)
120
112'
117b
117d
115b
115d
116'
124'
100b
100d
111'
114'
SEL(n)
122

ABB. 7B

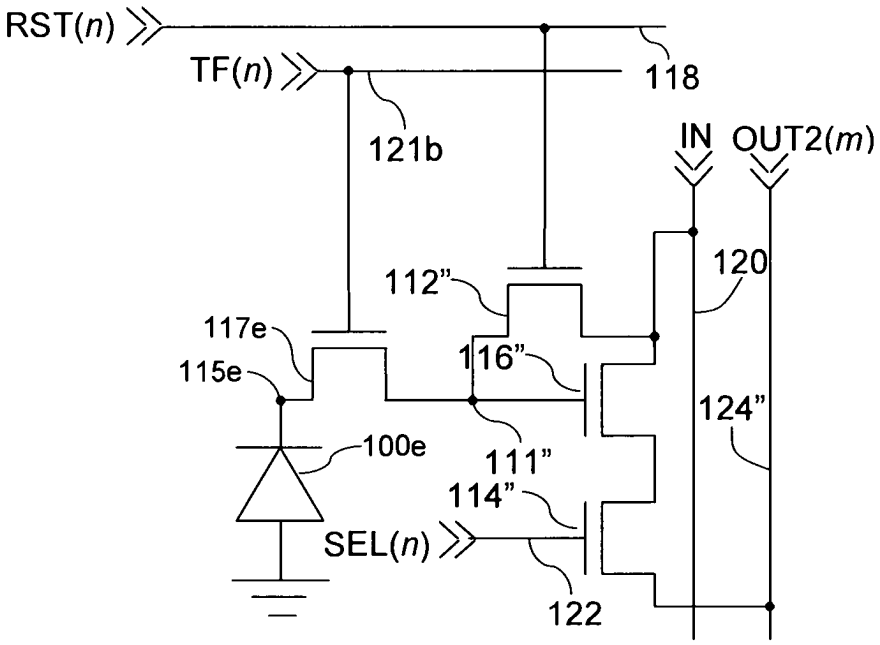

RST(n)
TF(n)
118
121b
IN
OUT2(m)
120
112"
117e
115e
116"
124"
100e
111"
114"
SEL(n)
122

ABB. 7C

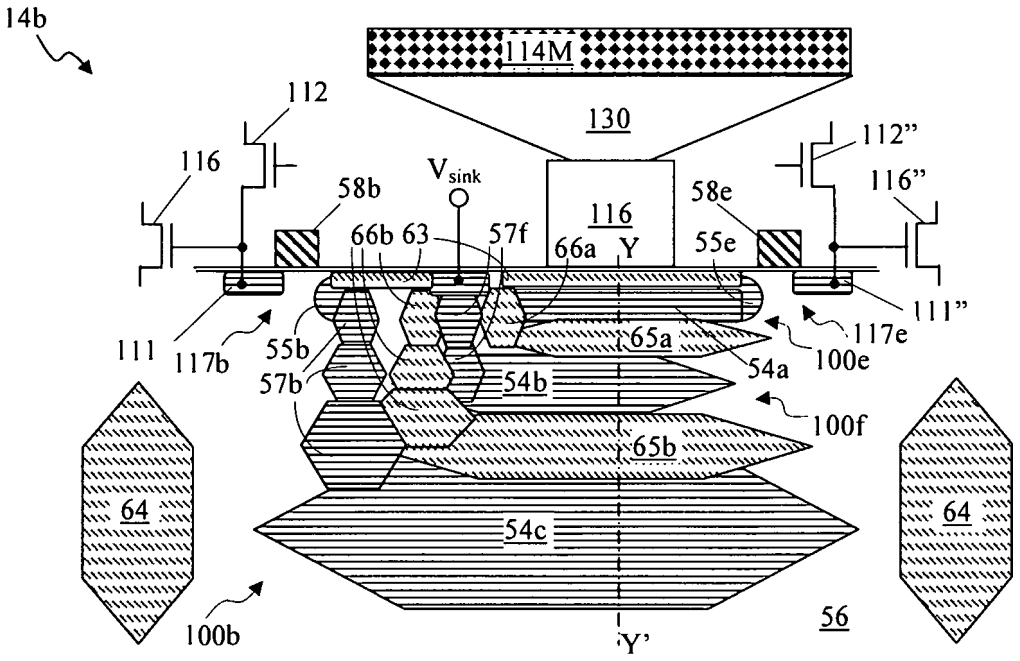

14b
114M
130
112
112"
116
116"
58b
58e
V_{sink}
116
66b
63
57f
66a
Y
55e
111
111"
117b
55b
57b
65a
117e
100e
54a
54b
100f
65b
64
64
54c
56
100b
Y'

ABB. 8

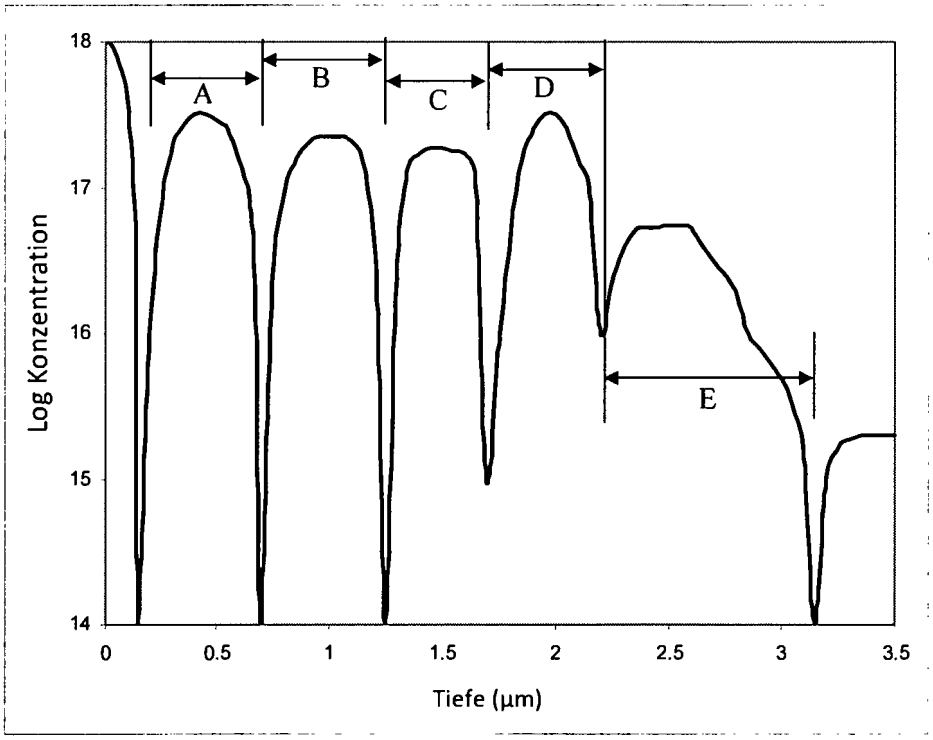

18
17
16
15
14
Log Konzentration
A
B
C
D
E
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
Tiefe (µm)

ABB. 9

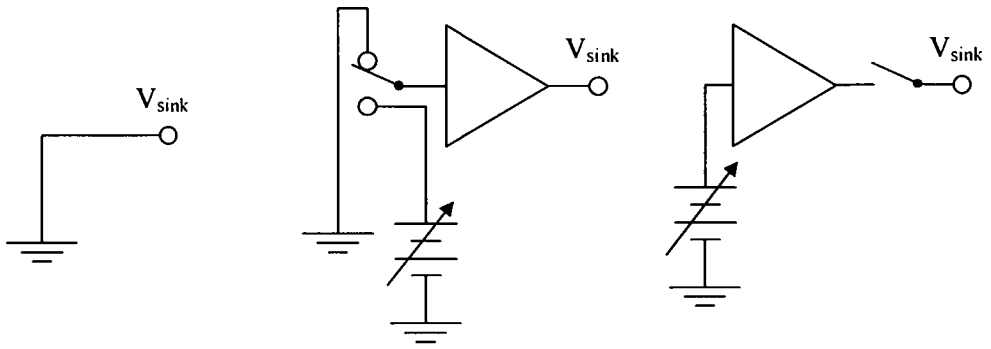


ABB. 10A *ABB. 10B* *ABB. 10C*

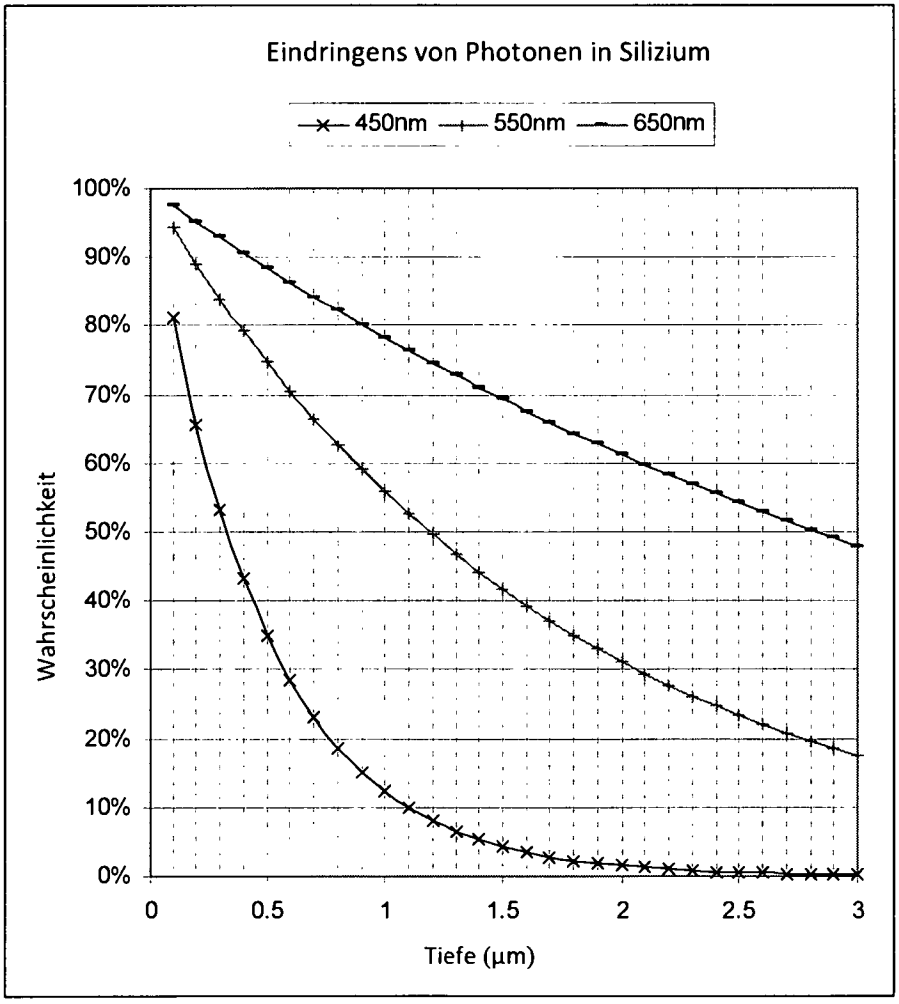


ABB. 11

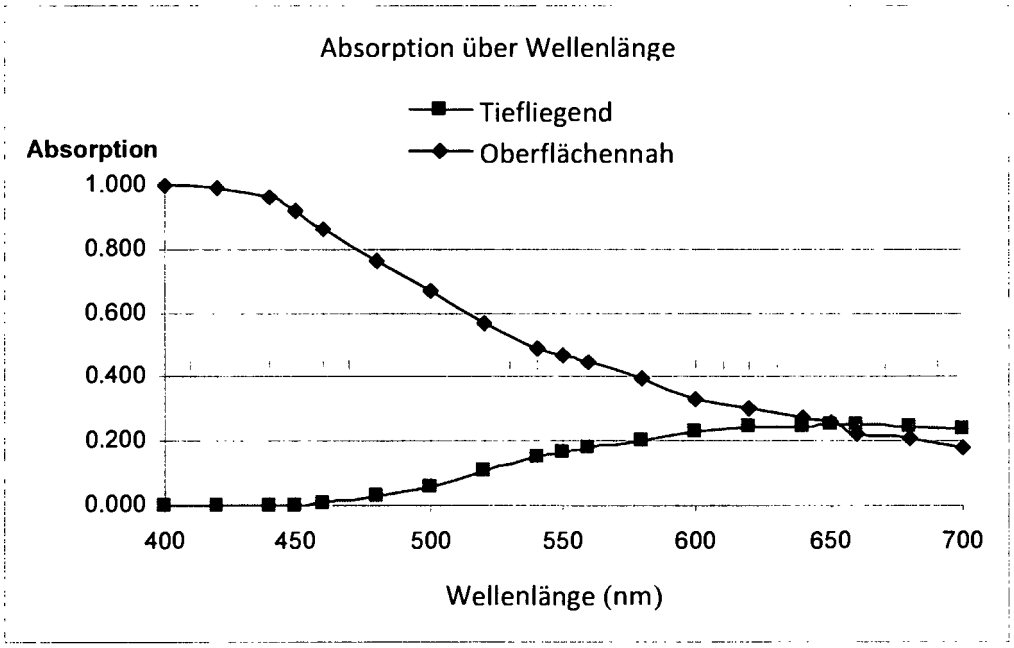

Absorption über Wellenlänge
Tiefliegend
Oberflächennah
Absorption
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 12

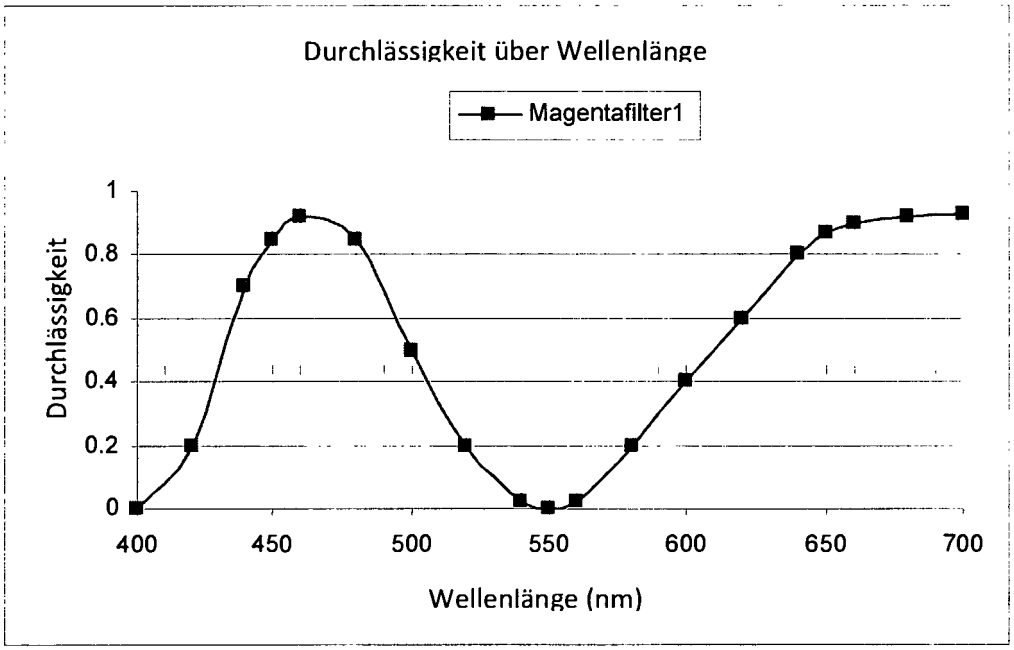

Durchlässigkeit über Wellenlänge
Magentafilter1
Durchlässigkeit
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 13

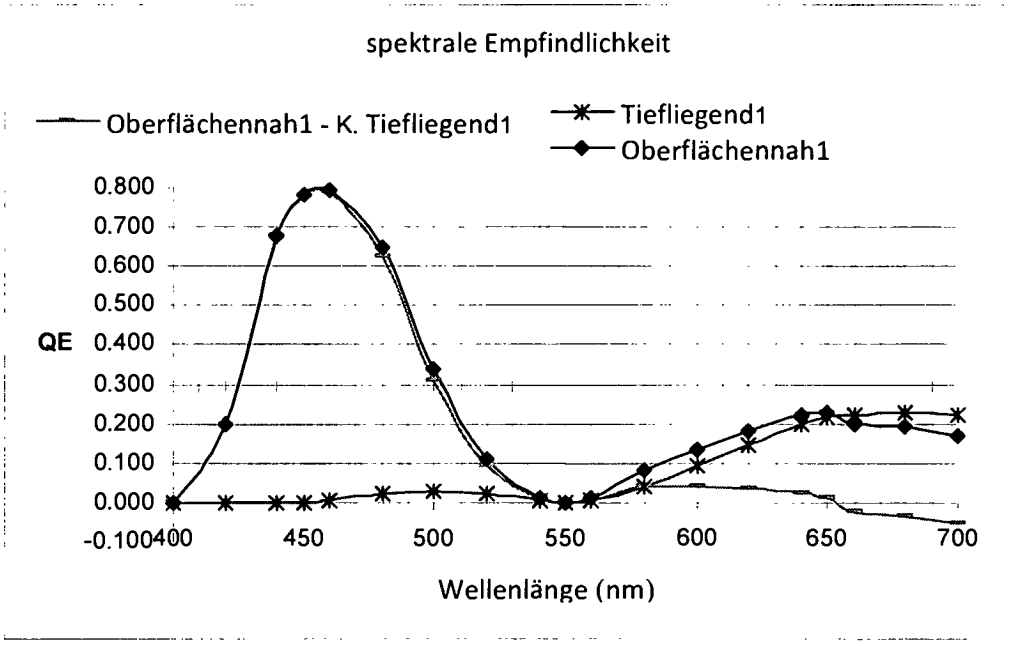

spektrale Empfindlichkeit
Oberflächennah1 - K. Tiefliegend1
Tiefliegend1
Oberflächennah1
QE
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
-0.100
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 14

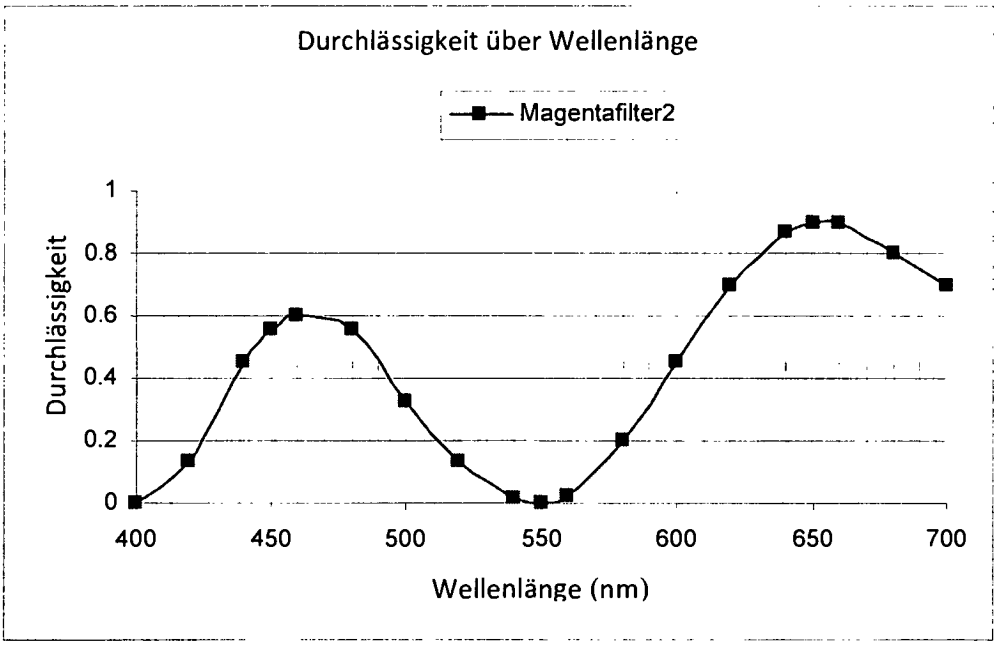

Durchlässigkeit über Wellenlänge
Magentafilter2
Durchlässigkeit
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 15

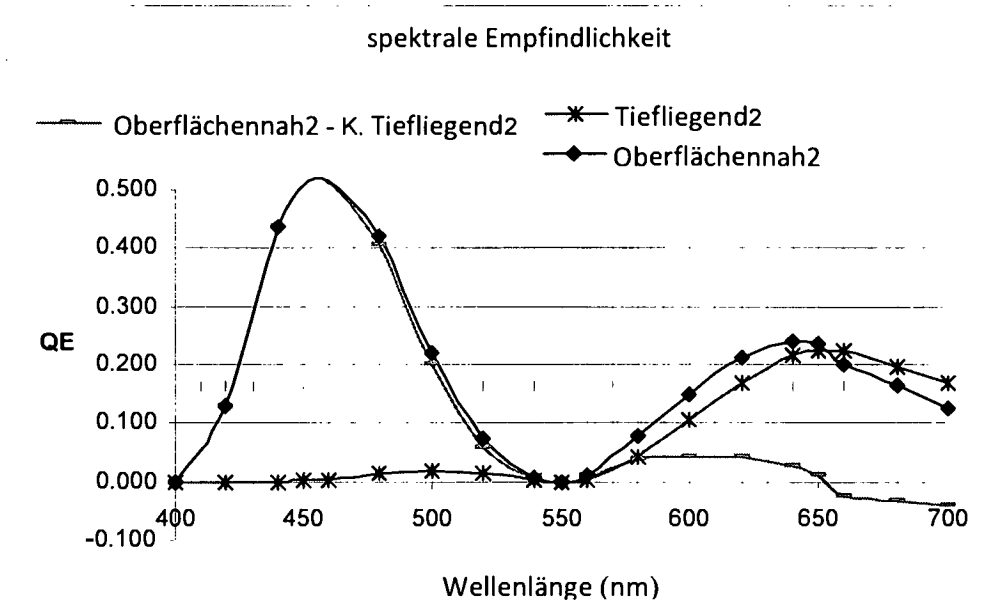

spektrale Empfindlichkeit
Oberflächennah2 - K. Tiefliegend2
Tiefliegend2
Oberflächennah2
QE
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
-0.100
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 16

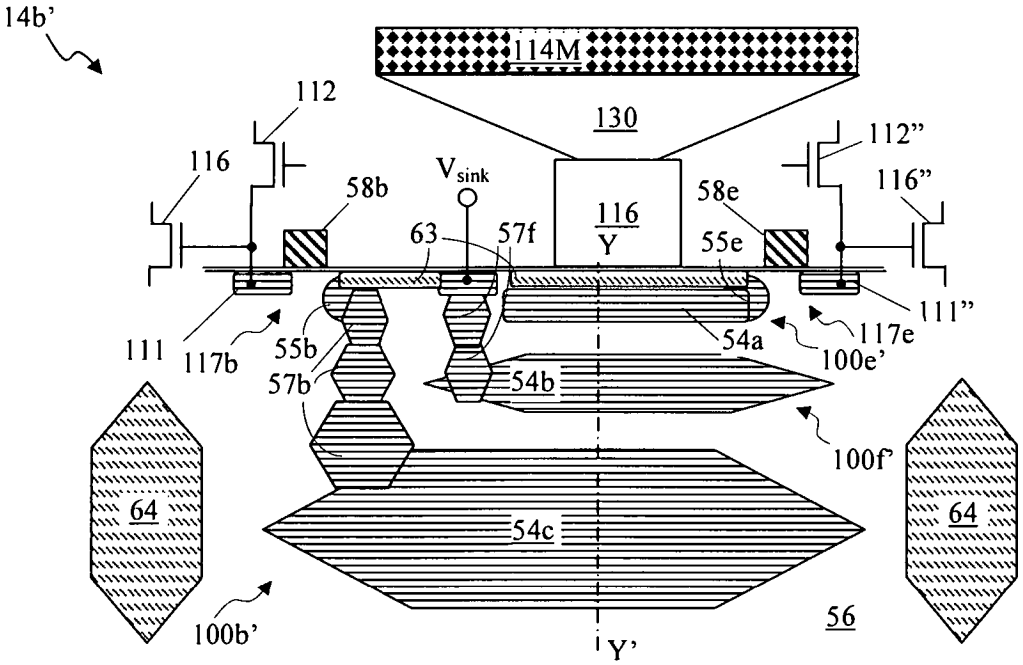

14b'
114M
130
112
116
58b
V_{sink}
63
57f
116
Y
58e
55e
112"
116"
111"
111
117b
55b
57b
54a
117e
100e'
54b
100f'
64
64
54c
56
100b'
Y'

ABB. 17

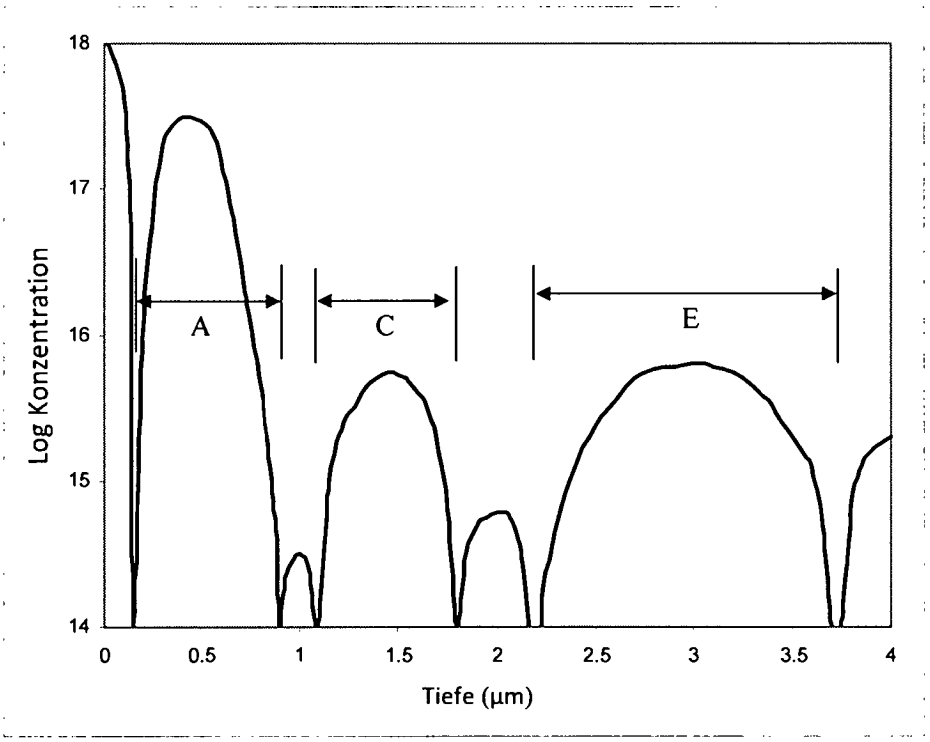

18
17
16
15
14
Log Konzentration
A
C
E
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
Tiefe (µm)

ABB. 18

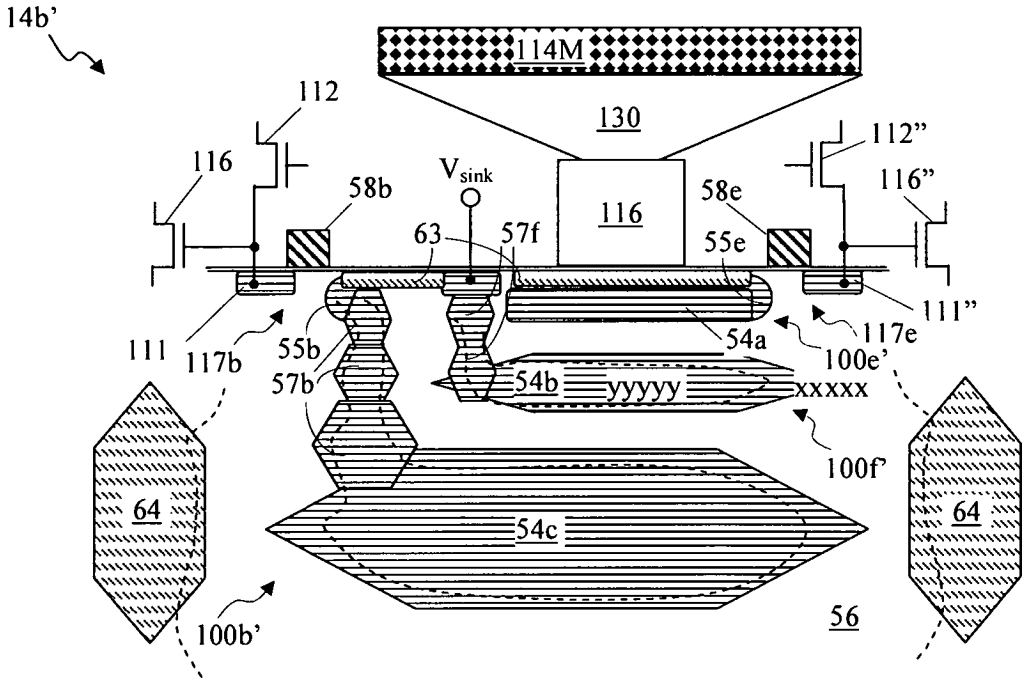

14b'
114M
130
112
116
58b
V_{sink}
63
57f
116
58e
55e
112"
116"
111"
111
117b
55b
57b
54a
117e
100e'
54b
yyyyy
xxxxx
100f'
64
54c
64
56
100b'

ABB. 19

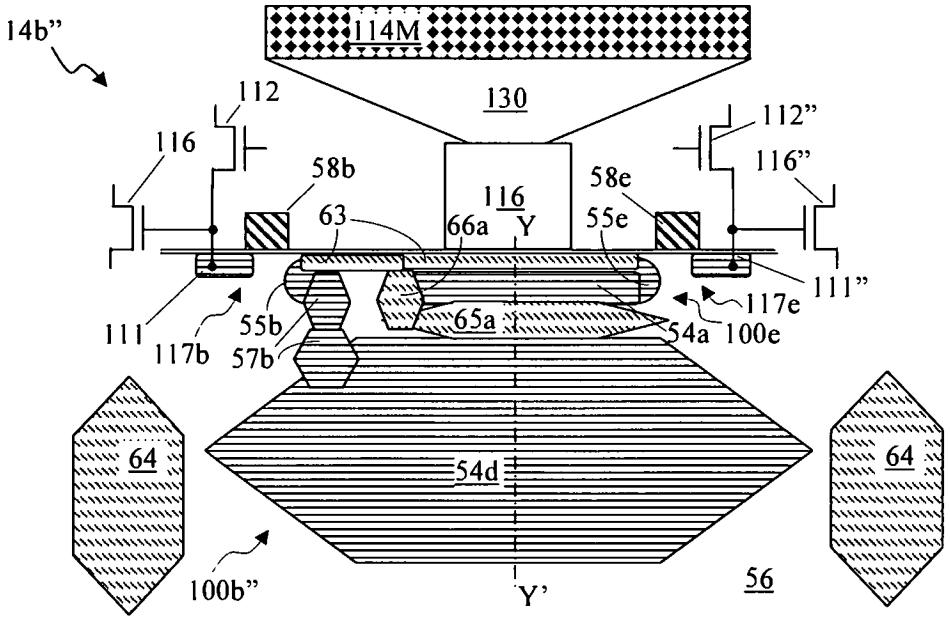

14b"
114M
130
112
116
58b
63
66a
116
Y
55e
58e
112"
116"
111"
117e
100e
54a
65a
111
117b
55b
57b
64
54d
64
100b"
Y'
56

ABB. 20

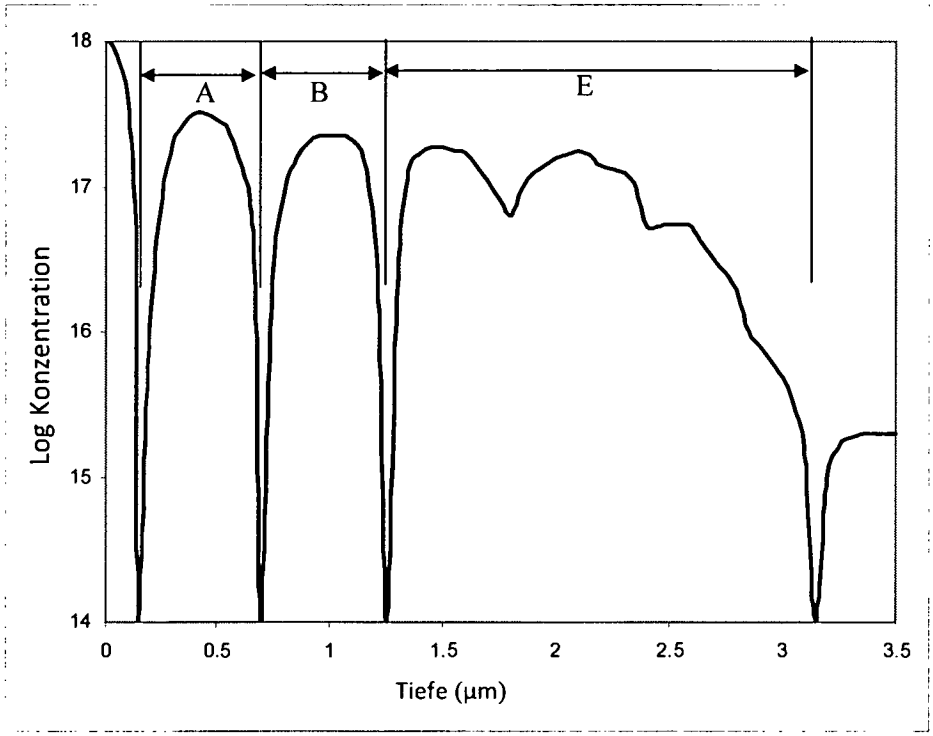

18
17
16
15
14
Log Konzentration
A
B
E
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
Tiefe (µm)

ABB. 21

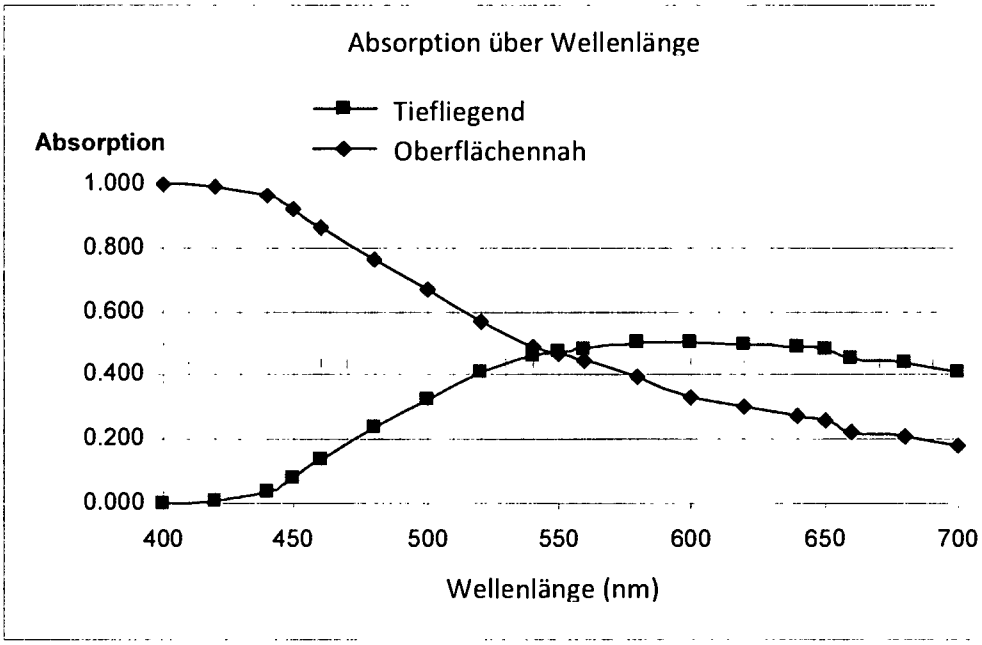

Absorption über Wellenlänge
Tiefliegend
Oberflächennah
Absorption
1.000
0.800
0.600
0.400
0.200
0.000
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 22

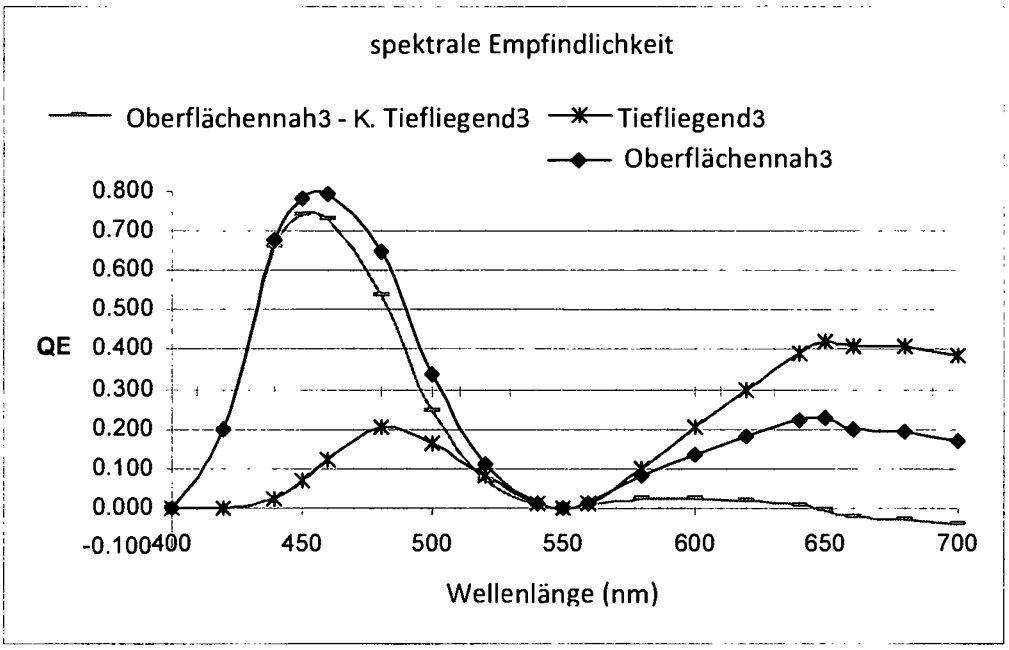

spektrale Empfindlichkeit
Oberflächennah3 - K. Tiefliegend3
Tiefliegend3
Oberflächennah3
QE
0.800
0.700
0.600
0.500
0.400
0.300
0.200
0.100
0.000
-0.100
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 23

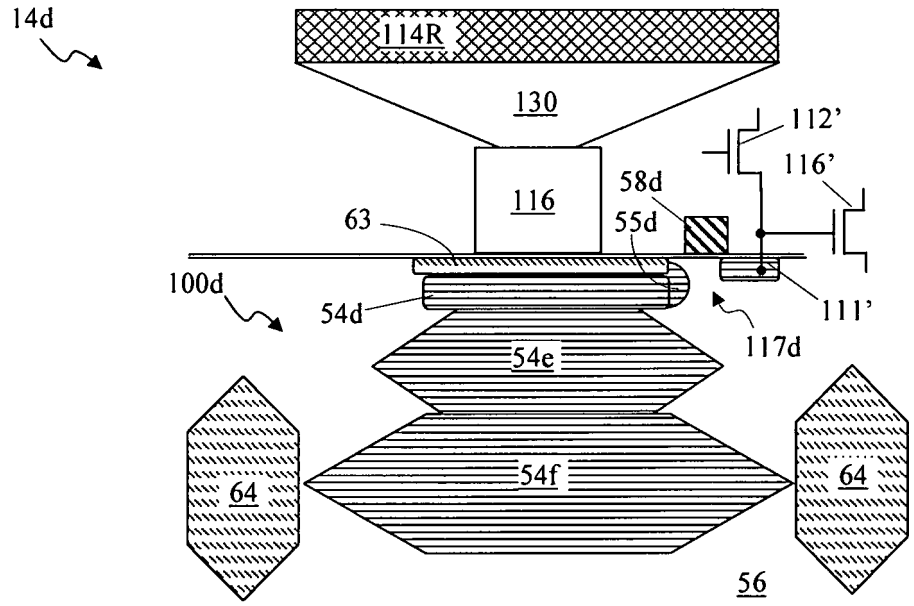

14d
114R
130
112'
116'
116
58d
55d
63
100d
54d
111'
117d
54e
54f
64
64
56

ABB. 24

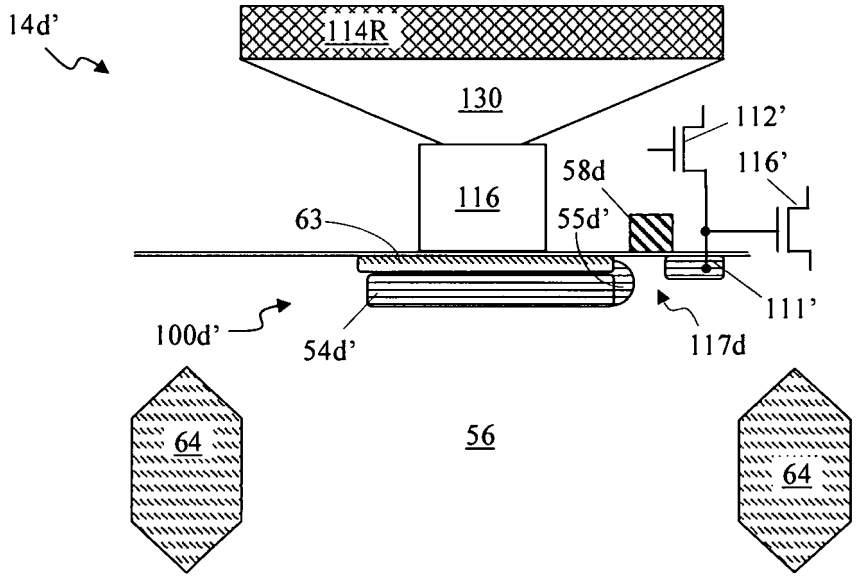

14d'
114R
130
112'
116'
116
58d
55d'
63
100d'
54d'
111'
117d
64
56
64

ABB. 25

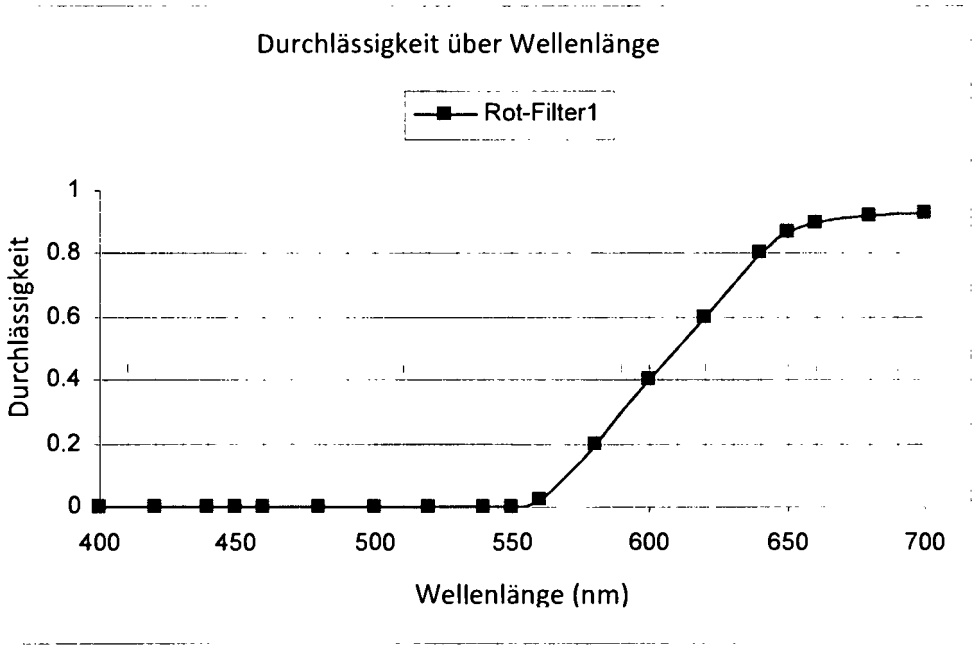

Durchlässigkeit über Wellenlänge
Rot-Filter1
Durchlässigkeit
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 26

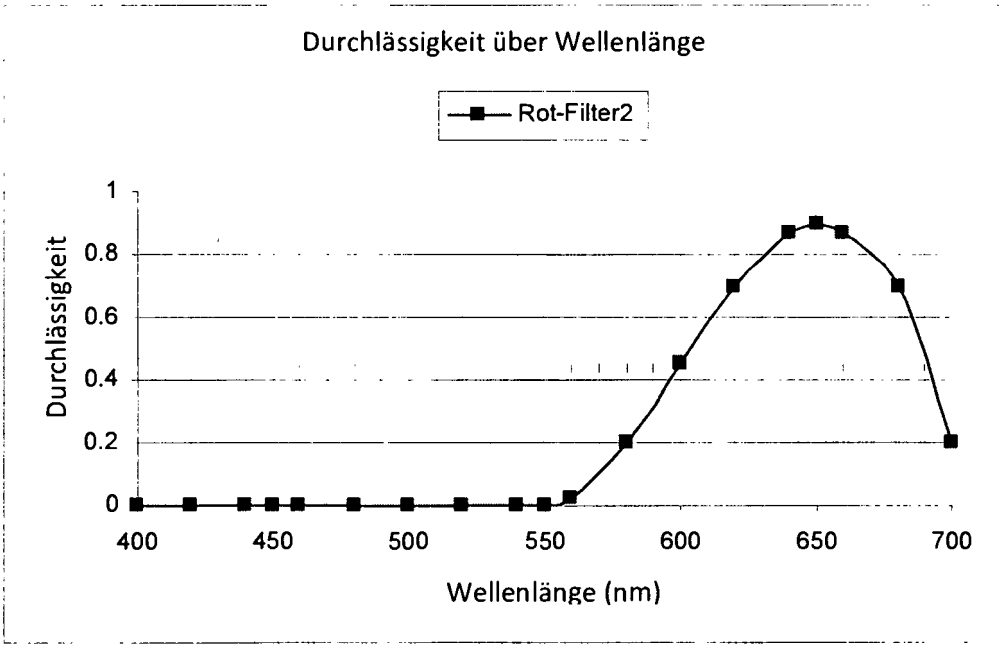

Durchlässigkeit über Wellenlänge
Rot-Filter2
Durchlässigkeit
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
400
450
500
550
600
650
700
Wellenlänge (nm)

ABB. 27

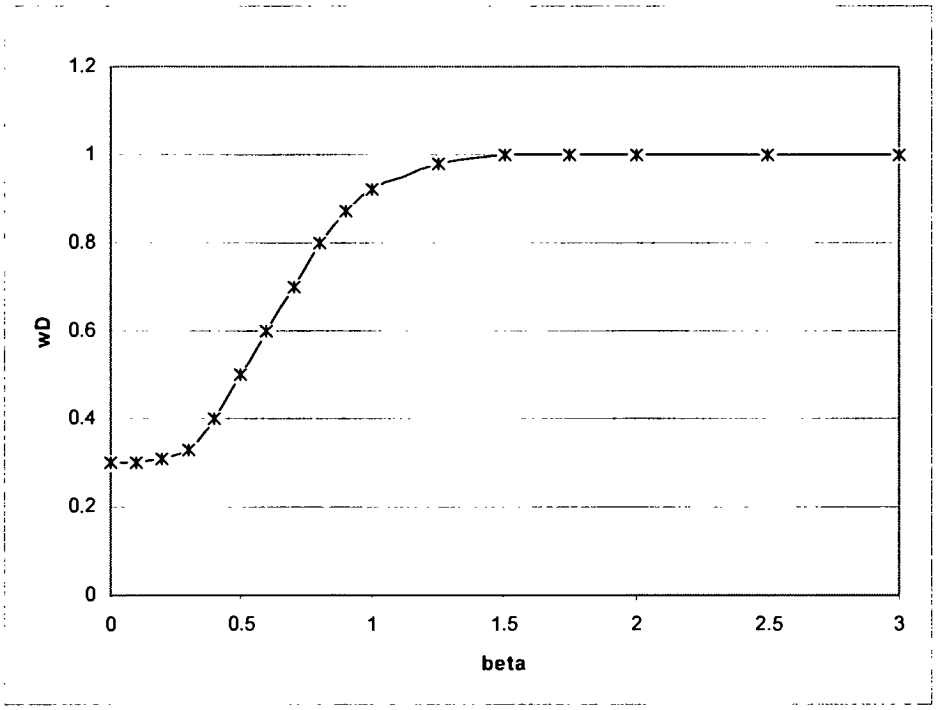

1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
wD
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
beta

ABB. 28

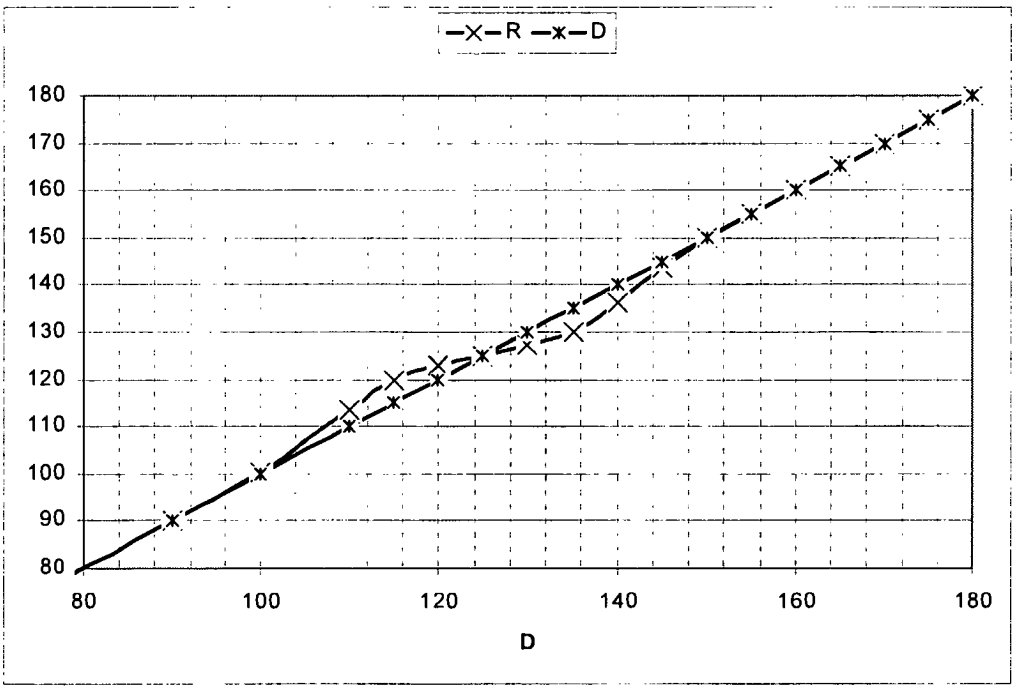

R
D
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
80
100
120
140
160
180
D

ABB. 29

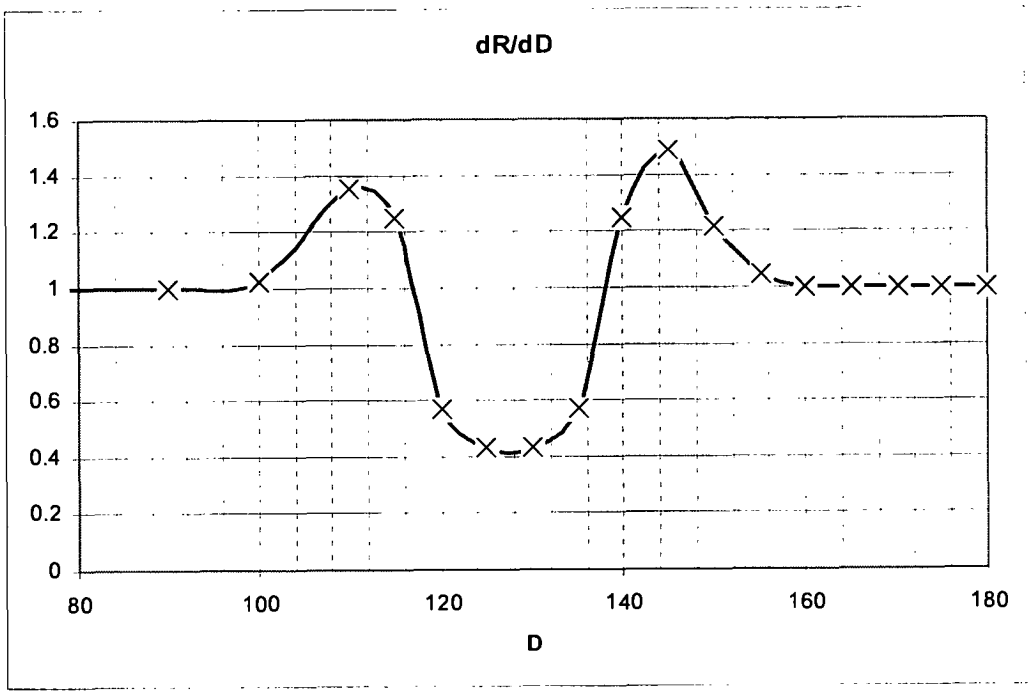

dR/dD
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
80
100
120
140
160
180
D

ABB. 30

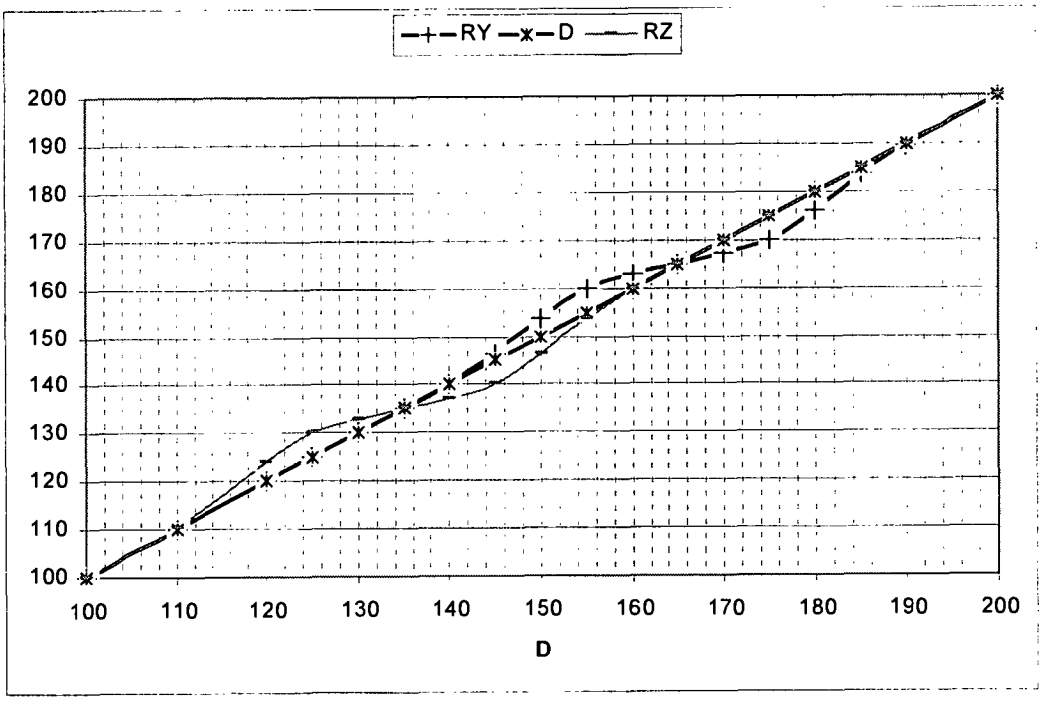

RY
D
RZ
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
D

ABB. 31

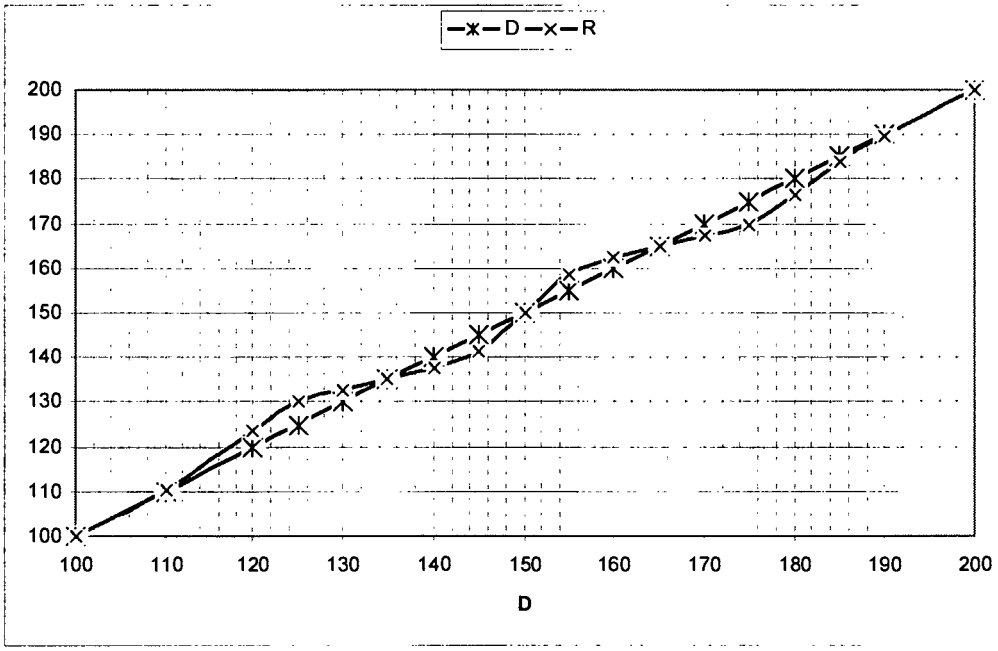

D
R
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200
D

ABB. 32

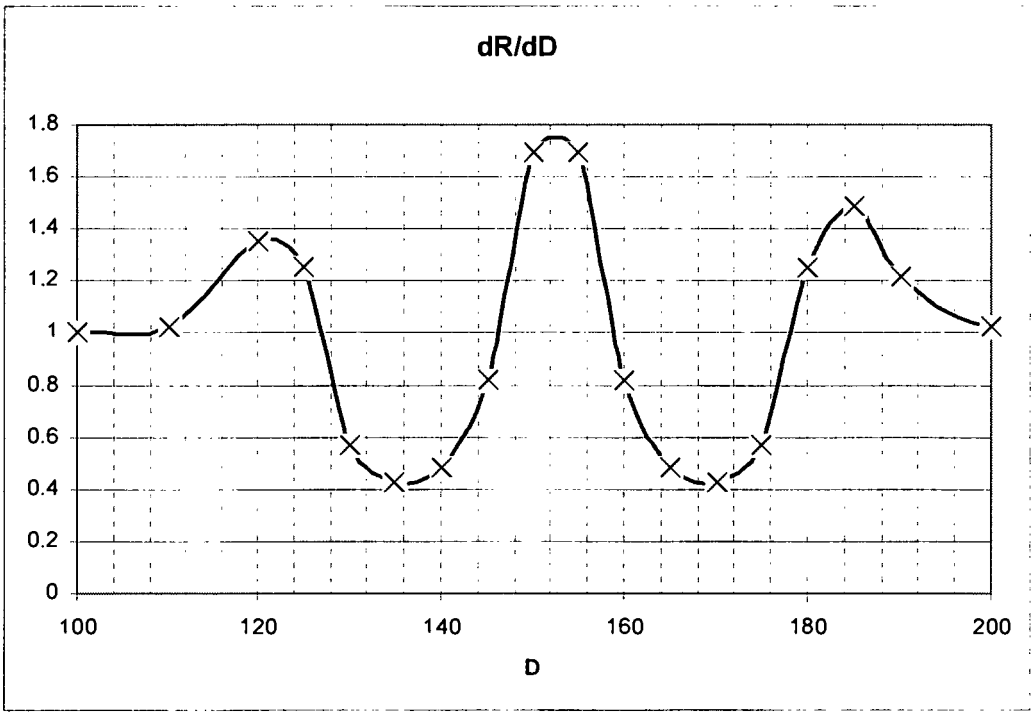

dR/dD
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
100
120
140
160
180
200
D

ABB. 33

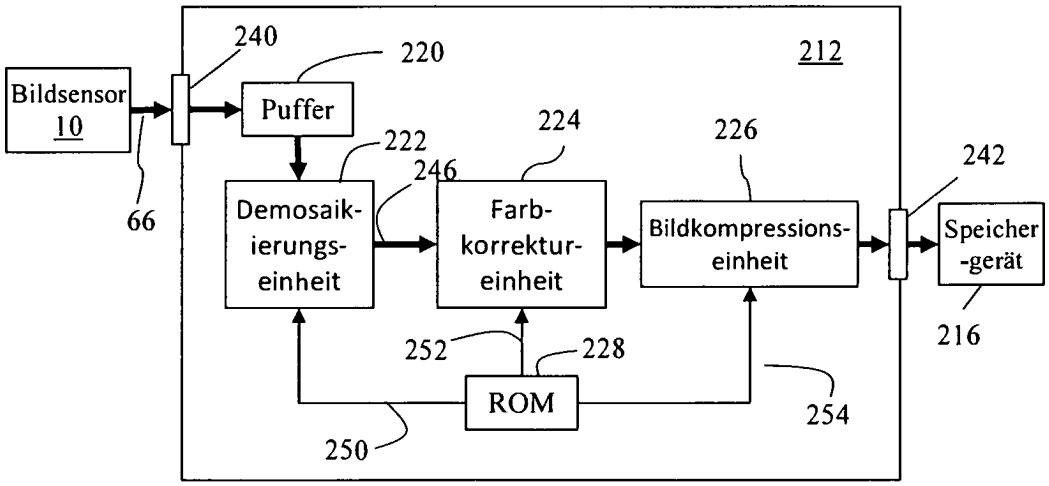

Bildsensor
10
66
240
Puffer
220
212
222
246
224
226
242
Demosaik-
ierungs-
einheit
Farb-
korrektur-
einheit
Bildkompressions-
einheit
Speicher
-gerät
216
252
228
ROM
254
250

ABB. 34