



(10) **DE 10 2012 113 168 A1 2013.07.04**

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 113 168.6**

(22) Anmeldetag: **28.12.2012**

(43) Offenlegungstag: **04.07.2013**

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

**H01L 31/0352 (2013.01)**

**H01L 31/0224 (2013.01)**

**G01T 1/24 (2013.01)**

(30) Unionspriorität:

**13/343,165**

**04.01.2012 US**

(74) Vertreter:

**Rüger, Barthelt & Abel Patentanwälte, 73728, Esslingen, DE**

(71) Anmelder:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady, N.Y., US**

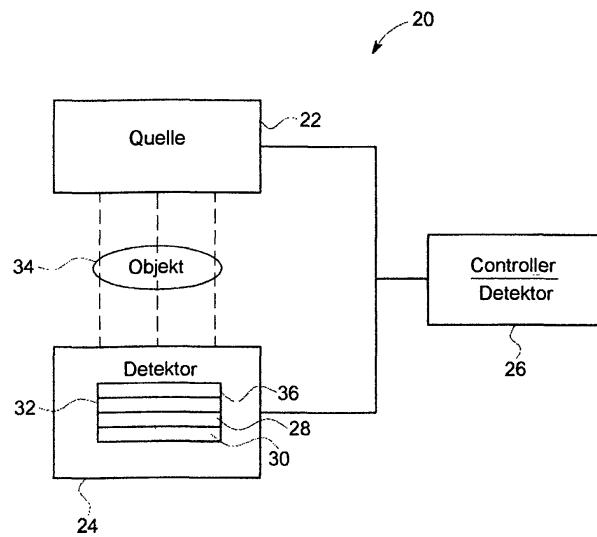
(72) Erfinder:

**Erfinder wird später genannt werden**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Photodiodenanordnungen und Fertigungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Es sind Photodiodenanordnungen und Fertigungsverfahren vorgesehen. Eine Photodiodenanordnung beinhaltet einen Siliziumwaffer mit einer ersten Oberfläche und einer gegenüberliegenden zweiten Oberfläche und eine Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen durch den Siliziumwafer. Die Photodiodenanordnung beinhaltet ferner eine dotierte epitaktische Schicht auf der ersten Oberfläche, wobei die dotierte epitaktische Schicht und das Substrat eine Vielzahl von Diodenübergängen bilden. Eine Strukturierung definiert eine Anordnung der Diodenübergänge.



**Beschreibung****ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK**

**[0001]** Photodioden werden in vielen verschiedenen Anwendungen verwendet. Zum Beispiel können Photodioden als Teile von Detektoren in Bildgebungs-systemen wie beispielsweise Röntgensystemen verwendet werden. In diesen Röntgensystemen bewegen sich von einer Quelle erzeugte Röntgenstrahlen durch einen abzubildenden Gegenstand und werden von den Detektoren erfasst. Als Reaktion darauf erzeugen die Detektoren (die Photodioden aufweisen) digitale Signale, welche die zur nachfolgenden Verarbeitung und Bildrekonstruktion verwendete erfass-te Energie repräsentieren.

**[0002]** Bei der bekannten Photodiodenfertigung unter Verwendung eines Halbleiterwafers wird gewöhnlich ein Ionenimplantationsprozess zum Ausbilden des Diodenübergangs und ein Metallprozess (z. B. Metallisierungsprozess) zum Herstellen elektrischer Verbindungen verwendet. Nach dem Metallisierungsprozess kann der Wafer keine Hochtemperaturprozesse mehr durchlaufen, die für die Fertigung von Halbleiterbauelementen verwendet werden. Zum Beispiel können die metallisierten Teile die hohen Temperaturen, die für das Aufwachsen thermischer Oxide und/oder die Ionenimplantataktivierung verwendet werden, nicht aushalten. Dementsprechend beinhaltet beim Herstellen eines Detektors mit einem integrierten Dioden-/Ausleseelektronikbauelements die Anfertigung auf beiden Seiten des Halbleiterwafers Metallprozesse auf beiden Seiten des Wafers, so dass ein koordinierter zweiseitiger Fotolithographieprozess verwendet werden muss. Dieser Prozess liegt nicht innerhalb der normalen Fähigkeiten der Fertigung komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter (CMOS) und macht den Fertigungsprozess auch komplizierter und kostspieliger.

**[0003]** Bekannte Photodioden-Fertigungsprozesse zum Herstellen von Bauelementen für bestimmte Anwendungen, wie z. B. die Fertigung von Detektoren mit integrierten/integrierter Photodioden/Ausleseelektronik auf beiden Seiten des Wafers für bildgebende Systeme, stehen in direkter Beziehung zu höherer Komplexität und höheren Kosten des Gesamtprozesses.

**KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG**

**[0004]** In einer Ausführungsform ist eine Photodiodenanordnung vorgesehen, die einen Siliziumwafer mit einer ersten Oberfläche und einer gegenüberliegenden zweiten Oberfläche und eine Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen durch den Siliziumwafer beinhaltet. Die Photodiodenanordnung beinhaltet ferner eine dotierte epitaktische Schicht auf der ersten Oberfläche, wobei die dotierte epitaktische

Schicht und das Substrat eine Vielzahl von Dioden-übergängen bilden. Eine Strukturierung definiert eine Anordnung der Diodenübergänge.

**[0005]** In einer weiteren Ausführungsform ist ein Detektor vorgesehen, der einen Siliziumwafer mit einer ersten Oberfläche und einer gegenüberliegenden zweiten Oberfläche, eine Vielzahl von Durchkontaktierungen durch den Siliziumwafer und eine Vielzahl von an der ersten Oberfläche ohne Metall gebildeten Photodioden beinhaltet. Der Detektor beinhaltet ferner an der gegenüberliegenden zweiten Oberfläche gebildete Ausleseelektronik, wobei die Vielzahl von Photodioden und die Ausleseelektronik durch die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen elektrisch verbunden sind.

**[0006]** In noch einer weiteren Ausführungsform ist ein Verfahren zum Anfertigen einer Photodiodenanordnung vorgesehen. Das Verfahren beinhaltet das Vorbearbeiten eines Siliziumwafers unter Verwendung eines Silizium-Durchkontaktierungsprozesses und Abscheiden einer dotierten epitaktischen Schicht auf einer Oberfläche des vorbearbeiteten Siliziumwafers, um eine Vielzahl von Diodenübergängen zu bilden. Das Verfahren beinhaltet ferner das Ätzen einer Struktur auf der Oberfläche, um eine Anordnung der Diodenübergänge zu definieren.

**KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN**

**[0007]** [Fig. 1](#) ist ein vereinfachtes schematisches Blockdiagramm einer beispielhaften Ausführungsform eines bildgebenden Systems.

**[0008]** Die [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) sind Diagramme, die einen Prozess zum Anfertigen einer Photodiodenanordnung und einer Ausleseelektronik gemäß verschiedenen Ausführungsformen veranschaulichen.

**[0009]** [Fig. 6](#) ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen einer Photodiodenanordnung und einer Ausleseelektronik gemäß verschiedenen Ausführungsformen.

**[0010]** [Fig. 7](#) ist eine perspektivische Darstellung eines gemäß einer Ausführungsform hergestellten Detektormoduls.

**[0011]** [Fig. 8](#) ist eine bildhafte Zeichnung einer beispielhaften Ausführungsform eines bildgebenden Systems, in dem ein Detektormodul mit einer Photodiodenanordnung verschiedener Ausführungsformen realisiert werden kann.

**[0012]** [Fig. 9](#) ist ein schematisches Blockdiagramm des in [Fig. 8](#) gezeigten bildgebenden Systems.

**AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG  
DER ERFINDUNG**

**[0013]** Die folgende ausführliche Beschreibung gewisser Ausführungsformen wird besser verständlich, wenn sie in Verbindung mit den angehängten Zeichnungen gelesen wird. Insofern als die Figuren Diagramme der Funktionsblöcke verschiedener Ausführungsformen darstellen, zeigen die Funktionsblöcke nicht unbedingt die Trennung zwischen Hardware-Schaltungsanordnungen an. So kann bzw. können zum Beispiel ein Funktionsblock oder mehrere Funktionsblöcke (z. B. Prozessoren oder Speicher) in einer einzelnen Hardwareeinheit (z. B. einem Universal-Signalprozessor oder einem Block- oder RAM-Speicher, einer Festplatte oder dergleichen) oder mehreren Hardwareeinheiten implementiert werden. Desgleichen können die Programme eigenständige Programme, als Unterprogramme in ein Betriebssystem integriert, Funktionen in einem installierten Softwarepaket und dergleichen sein. Es versteht sich, dass die diversen Ausführungsformen nicht auf die in den Zeichnungen gezeigten Anlagen und Mittel beschränkt sind.

**[0014]** In der hierin verwendeten Form ist ein in der Einzahl genanntes/r Element oder Schritt, dem das Wort "ein/e" vorangestellt ist, nicht als die Mehrzahl der genannten Elemente oder Schritte ausschließend zu verstehen, es sei denn, ein derartiger Ausschluss wird ausdrücklich angegeben. Ferner dürfen Verweise auf „eine Ausführungsform“ nicht als das Bestehen zusätzlicher Ausführungsformen, die ebenfalls die genannten Merkmale aufweisen, ausschließend ausgelegt werden. Des Weiteren können, sofern nicht ausdrücklich gegenteilig angegeben, Ausführungsformen, die ein oder mehrere Elemente mit einer besonderen Eigenschaft „aufweisen“ oder „haben“, zusätzliche derartige Elemente beinhalten, die diese Eigenschaft nicht haben.

**[0015]** In der hierin verwendeten Form soll auch der Begriff „Rekonstruieren“ oder „Rendern“ eines Bilds oder Datensatzes keine Ausführungsformen ausschließen, in denen ein Bild repräsentierende Daten erzeugt werden, aber kein betrachtbares Bild. Daraus bezieht sich der Begriff „Bild“ in der hierin verwendeten Form sowohl auf betrachtbare Bilder als auch auf ein betrachtbares Bild repräsentierende Daten. Einige der Ausführungsformen erzeugen aber wenigstens ein betrachtbares Bild oder sind dafür konfiguriert, es zu erzeugen. In einer beispielhaften Ausführungsform ist das „Objekt“, das abgebildet wird, ein Mensch. Das Objekt kann alternativ aber auch ein anderes Lebewesen als ein Mensch sein. Darüber hinaus ist das Objekt nicht auf Lebewesen beschränkt, sondern kann auch aus leblosen Gegenständen bestehen, wie z. B. unter anderem Gepäck, Frachtcontainer und/oder dergleichen.

**[0016]** Diverse Verfahren sehen Verfahren und Systeme zum Herstellen oder Anfertigen von Photodiodeanordnungen vor, wie z. B. eine frontbelichtete Durchkontaktierungs-(FLTV-)Photodiodeanordnung, die Diodenübergänge hat, die durch Epitaxie (auch epitaktische Abscheidung genannt) hergestellt werden. In verschiedenen Ausführungsformen wird die Herstellung des Diodenübergangs und der elektrischen Verbindungen in einem einzelnen metallfreien Prozess bereitgestellt. Durch die Ausführung wenigstens einer Ausführungsform kann zuerst die Photodiodeanfertigung auf einer Seite eines Wafers abgeschlossen werden und dann wird die Anfertigung der elektronischen Komponenten auf der anderen Seite des Wafers durchgeführt. In verschiedenen Ausführungsformen wird so kein koordinierter zweiseitiger Fotolithografieprozess benötigt und der gesamte Fertigungsprozessablauf kann mit komplementären Metall-Oxid-Halbleitern (CMOS) kompatibel gemacht werden, wie z. B. die Anfertigung anderer Komponenten (z. B. Ausleseelektronik) auf der anderen Seite des Wafers. Durch Ausführen verschiedener Ausführungsformen ermöglicht ein Vorderseiten-(Photodiodeseiten-)prozess nachfolgende Prozessschritte bei hoher Temperatur.

**[0017]** Die verschiedenen Ausführungsformen können eine Photodiodeanordnung mit Elektronik zur Verwendung in einem Detektor für bildgebende Anwendungen bereitstellen. Zum Beispiel kann die Photodiodeanordnung mit bildgebenden Systemen verwendet werden, die hierin in Verbindung mit Computertomografie-(CT-)Systemen beschrieben werden. Die verschiedenen Ausführungsformen können aber in Verbindung mit verschiedenen Typen bildgebender Systeme realisiert werden, z. B. Positronen-Emissions-Tomografie-(PET-)Systemen und nuklearmedizinischen Systemen, wie z. B. Einzelphotonen-Emissionscomputertomografie-(SPECT-)Systeme, sowie anderen Typen bildgebender Systeme. Anwendungen von bildgebenden Systemen beinhalten medizinische Anwendungen, Sicherheitsanwendungen, industrielle Kontrollanwendungen und/oder dergleichen. Ausführungsformen werden hierin also zwar in Bezug auf ein CT-Bildgebungssystem mit Detektoren, die Röntgenstrahlen erfassen, beschrieben und veranschaulicht, die verschiedenen Ausführungsformen können aber mit beliebigen anderen Bildgebungsmodalitäten verwendet werden und können z. B. zum Erfassen eines beliebigen anderen Typs von elektromagnetischer Energie verwendet werden. Darüber hinaus sind die verschiedenen hierin beschriebenen und/oder veranschaulichten Ausführungen mit für Einzel- und/oder Mehrschichtbetrieb konfigurierten Systemen anwendbar.

**[0018]** Ein Detektor mit einer gemäß verschiedenen Ausführungsformen ausgebildeten Photodiodeanordnung, Bezug nehmend auf [Fig. 1](#), kann in einem bildgebenden System **20** verwendet werden,

das eine Quelle **22** elektromagnetischer Energie, wenigstens einen Detektoren **24** und einen Controller/Prozessor **26** beinhaltet. Der wenigstens eine Detektor **24** beinhaltet auch eine Photosensoranordnung, die in verschiedenen Ausführungsformen eine Photodiodenanordnung **28** ist, und Ausleseelektronik **30** (z. B. einen Analog-Digital-(A/D-)Wandler zum Umsetzen eines analogen Signalstroms in ein digitales Signal oder eine Kombination aus einem Verstärker und einem A/D-Wandler mit dem Verstärker zum Umsetzen eines analogen Signalstroms in ein analoges Spannungssignal und dem A/D-Wandler zum Umsetzen des Spannungssignals in ein digitales Signal). In einer Ausführungsform werden das Photodiodenfeld **28** und die Ausleseelektronik **30** in verschiedenen Ausführungsformen von zwei verschiedenen Seiten desselben Siliziumwafers (zu verschiedenen Zeiten) hergestellt, wobei Verbindungen zwischen ihnen mit leitenden Durchkontaktierungen bereitgestellt werden, wie hierin ausführlicher beschrieben wird. Ein Post-Objekt-Kollimator **36** (z. B. ein Post-Patienten-Kollimator) und ein Szintillator **32** sind ebenfalls bereitgestellt, wie unten ausführlicher beschrieben wird.

**[0019]** Der Controller/Prozessor **26** kann Strom und/oder Zeitsteuerungssignale an die Quelle **22** anlegen. Der Detektor **24** erfasst von der Quelle **22** ausgestrahlte Energie, die ein abzubildendes Objekt **34** und den Post-Objekt-Kollimator **36** durchlaufen hat. Als Reaktion darauf wandelt der Szintillator **32** die empfangenen Röntgenstrahlen in optische Photonen um und die Photosensoranordnung, speziell die Photodiodenanordnung **28**, wandelt die optischen Photonen in elektrische Stromsignale um, die die erfasste Energie repräsentieren. Die Ausleseelektronik **30**, wie die A/D-Wandler, tastet die empfangenen analogen Stromsignale von der Photodiodenanordnung **28** ab und setzt die Daten in digitale Signale um. Der Controller/Prozessor **26** führt unter Verwendung der empfangenen digitalen Signale eine anschließende Verarbeitung und Bildrekonstruktion durch. Das rekonstruierte Bild kann vom Controller/Prozessor **26** und/oder einem anderen Gerät gespeichert und/oder angezeigt werden.

**[0020]** In verschiedenen Ausführungsformen ist der Detektor **24** ein indirekt umsetzender Detektor, wobei der Szintillator **32** elektromagnetische Energie in sichtbare (oder UV-nahe) Lichtphotonen umwandelt, die dann von der Photodiodenanordnung **28** in elektrische analoge Signale umgesetzt werden. Der Detektor **24** kann jeder beliebige Typ von indirekt umsetzendem Detektor sein, wie z. B. ein beliebiger Detektor mit hochdichten Seltene-Erden-Keramik-Szintillatoren, ist aber nicht darauf beschränkt.

**[0021]** Eine Ausführungsform zur Anfertigung der Photodiodenanordnung **28** und der Ausleseelektronik **30** ist in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) veranschaulicht. Diese

Figuren veranschaulichen allgemein die Schritte zur Anfertigung der Diodenanordnung **28** und der Ausleseelektronik **30**. Es ist zu beachten, dass die den [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) jeweils entsprechenden Schritte sequentiell durchgeführt werden können. Es ist aber zu beachten, dass einer oder mehrere der Schritte auch gleichzeitig oder in einer anderen Reihenfolge durchgeführt werden können.

**[0022]** Der veranschaulichte Fertigungsprozess verwendet keinen Ionenimplantationsprozess zum Bilden eines Photodiodenübergangs. Außerdem wird zum Verbinden der Photodiode mit der Silizium-Durchkontaktierung (TSV) kein Metallprozess verwendet. Speziell veranschaulicht [Fig. 2](#) einen für den Fertigungsprozess verwendeten Wafer. In einer Ausführungsform wird ein Siliziumwafer **40** verwendet, wie z. B. ein epitaktischer Wafer (Epi-Wafer). Der Epi-Wafer kann ein beliebiger Wafer aus Halbleitermaterial sein, der durch epitaktisches Wachstum (auch als Epitaxie bezeichnet) hergestellt wurde. Der Epi-Wafer kann mit einem beliebigen geeigneten Verfahren wie z. B. dem Aufwachsen der epitaktischen Schicht auf einem vorhandenen Siliziumsubstrat oder unter Verwendung von direktem Silizium-Silizium-Bonden hergestellt werden. Der Epi-Wafer kann aus verschiedenen Stoffen hergestellt werden, wie z. B. Halbleitermaterialien einschließlich u. a. Galliumnitrid (GaN), mit verschiedenen Dotierstoffen wie Gallium, Indium, Aluminium, Stickstoff, Phosphor oder Arsen oder Kombinationen davon.

**[0023]** In einer Ausführungsform ist der Siliziumwafer **40** ein mehrschichtiger Wafer, der eine Substratschicht **42** und eine hochohmige (z. B. mehr als 800 Ohm/cm) Schicht **44** beinhaltet. Zum Beispiel ist die hochohmige Schicht **44** in verschiedenen Ausführungsformen eine hochohmige Bauelementeschicht, die einen Widerstand haben kann, der zur Fertigung der Photodiodenanordnung **28** geeignet ist, wie z. B. eine Zero-Bias-PIN-Diodenanordnung. In einer Ausführungsform kann der Siliziumwafer **40** aus zwei Schichten Siliziummaterial hergestellt sein. Zum Beispiel kann die Substratschicht **42** aus einem n+-dotierten Substratmaterial mit einem für die Fertigung von CMOS-Mischsignal-Ausleseelektronik, wie z. B. die Ausleseelektronik **30**, geeigneten Widerstand hergestellt sein. Die hochohmige Schicht **44** kann aus einer Epi-Schicht mit hohem Widerstand, wie z. B. einem hochohmigen Vollmaterial des n-Typs, z. B. einem phosphor-dotierten Material, hergestellt sein. In verschiedenen Ausführungsformen kann die mehrschichtige Struktur anhand von Prozessschritten hergestellt sein, die Epi-Abscheidung, Oxidation, Diffusion, Bonden, Polieren und Ätzen beinhalten.

**[0024]** Die Substratschicht **42** hat daher den gleichen Dotierungstyp wie die hochohmige Schicht **44**, aber mit einem niedrigeren Widerstand. Dementspre-

chend sind die Substratschicht **42** und die hochohmige Schicht **44** beide n-dotierte Schichten (z. B. mit einem Dotierstoff des n-Typs wie z. B. Phosphor dotierte Schichten). Es ist aber zu beachten, dass die Substratschicht **42** und die hochohmige Schicht **44** in anderen Ausführungsformen p-dotierte Schichten sein können (eine mit einem Dotierstoff des p-Typs, wie z. B. Bor, dotierte Schicht). In verschiedenen Ausführungsformen sind der Dotierungstyp der Substratschicht **42** und der hochohmigen Schicht **44** der gleiche. Dementsprechend sind in einer Ausführungsform die Substratschicht **42** und die hochohmige Schicht **44** eine n+-dotierte bzw. n-dotierte Schicht. In einer weiteren Ausführungsform sind die Substratschicht **42** und die hochohmige Schicht **44** eine p+-dotierte bzw. p-dotierte Schicht.

**[0025]** Es ist zu beachten, dass in verschiedenen Ausführungsformen, z. B. bei Verwendung des Fertigungsprozesses zum Herstellen einer kachelartig gruppierbaren zweidimensionalen (2D) frontbeleuchteten Photodiodenanordnung mit rückseitigem Anschluss, das als die Photodiodenanordnung **28** ausgebildet sein kann, wobei die Substratschicht **42** sich auf einer Zwischenverbindungsseite **48** befindet und die hochohmige Schicht **44** sich auf einer Beleuchtungsseite **46** befindet.

**[0026]** In [Fig. 3](#), auf die jetzt Bezug genommen wird, wird ein Vorprozess-Silizium-Durchkontaktierungs-Herstellungsschritt veranschaulicht. Speziell wird eine Durchkontaktierung **50**, die in einer Ausführungsform ein Loch ist, das sich von der Beleuchtungsseite **46** zur Zwischenverbindungsseite **48** erstreckt, hergestellt. Zum Beispiel kann in einer Ausführungsform mithilfe einer beliebigen geeigneten Methode ein Loch durch den Wafer **40** gebohrt werden, wie z. B. mithilfe eines Plasmaätzprozesses. Das die Durchkontaktierung **50** bildende Loch definiert in verschiedenen Ausführungsformen eine dielektrische Isolierschicht, die eine leitende Silizium-Durchkontaktierung ist, beispielsweise mit einem dotierten Poly-Silizium-(Si)-Refill. Speziell wird nach Herstellung der Durchkontaktierung **50** mithilfe einer geeigneten Methode eine Dioxidschicht **51** auf der Beleuchtungsseite **46**, der Zwischenverbindungsseite **48** sowie in der Durchkontaktierung **50** ausgebildet. Zum Beispiel besteht die Möglichkeit des thermischen Aufwachsenlassens einer Siliziumdioxid-(SiO<sub>2</sub>)-Schicht auf dem Wafer **40**, wie z. B. in einem Ofen bei erhöhter Temperatur. Der Oxidwachstumsprozess auf dem Wafer **40** bildet auf freiliegenden Oberflächen die SiO<sub>2</sub>-Schicht.

**[0027]** Danach wird die Durchkontaktierung **50** mit einem dotierten Poly-Material **52** wieder gefüllt, das in einer Ausführungsform ein p++-Poly-Durchkontaktierungs-Refill ist. In einigen Ausführungsformen ist die p++-Dotierung zwei- bis zehnmal höher als eine p+-Dotierung, wie hierin ausführlicher bespro-

chen wird. Dementsprechend wird die Durchkontaktierung **50** hergestellt und dann ein leitendes Refill verwendet, um die Durchkontaktierung **50** mit einem dotierten Polymaterial zum Herstellen einer leitenden Durchkontaktierung zu füllen. Der Refill-Prozess kann mit jeder beliebigen geeigneten Durchkontaktierungs-Füllmethode durchgeführt werden.

**[0028]** Die Durchkontaktierung **50**, die ein TSV ist, hat daher ein stark dotiertes Poly-Si-Refill, das den Durchkontaktierungsleiter definiert, der durch eine dielektrische Schicht, nämlich die SiO<sub>2</sub>-Schicht **51**, von dem Substrat, nämlich der Substratschicht **42** und der hochohmigen Schicht **44**, getrennt ist. Es ist zu beachten, dass das Poly-Refill einen anderen Dotierungstyp als die Substratschicht **42** und die hochohmige Schicht **44** hat.

**[0029]** Danach, und wie in [Fig. 4](#) gezeigt, wird eine dotierte Epi-Schicht-Abscheidung mit Strukturätzung durchgeführt. Dieser Prozess bildet die Photodiodeanordnung **28**, wobei die neue Epi-Schicht-Abscheidung den gleichen Dotierungstyp wie das Poly-Refill der Durchkontaktierung **50** hat. Speziell wird die dotierte Epi-Schicht in einer Ausführungsform auf der Beleuchtungsseite **46** mit dem gleichen Dotierungstyp wie das Poly-Refill ausgebildet. Zum Beispiel wird in einer Ausführungsform nach einer Strukturätzung der SiO<sub>2</sub>-Schicht **51** auf der Beleuchtungsseite **46** des Wafers **40** zuerst eine p+-dotierte Epi-Schicht **54** ausgebildet, dann erhält die Epi-Schicht eine Strukturätzung zum Entfernen der Epi-Schicht-Abscheidung auf der restlichen SiO<sub>2</sub>-Schicht **51**. Die p+-dotierte Epi-Schicht **54** wird aber nicht auf der Zwischenverbindungsseite **48** ausgebildet. Die p+-dotierte Schicht **54** kann anhand eines beliebigen geeigneten Prozesses ausgebildet werden. Zum Beispiel kann die p+-dotierte Schicht **54** durch (i) einen Vordiffusionsprozess, wobei die p+-dotierte Schicht **54** durch eine hohe Temperatur in die hochohmige Schicht **44** getrieben wird, oder (ii) einen Epi-Abscheidungsprozess, wobei die p+-dotierte Schicht **54** durch epitaktisches Wachstum aufgebracht wird, ausgebildet werden.

**[0030]** Die Epi-Schicht, die eine p+-dotierte Epi-Schicht **54** ist, befindet sich auf der Durchkontaktierung **50**. Die p+-dotierte Epi-Schicht wird z. B. aus epitaktischem Wachstum auf der gesamten Oberseitenfläche der Beleuchtungsseite **46** ausgebildet.

**[0031]** Dann wird eine Strukturätzung ausgebildet, z. B. mithilfe einer Fotolackmaske zum Definieren von Öffnung **58**. Die Öffnungen **58** legen die darunter liegende SiO<sub>2</sub>-Schicht **51** frei. Es ist zu beachten, dass jeder geeignete Ätzprozess verwendet werden kann. Der Diodenübergang (der in dieser Ausführungsform ein p-n-Übergang ist, der eine p-n-Diode definiert) für die Photodioden **60**, welche die Photodiodeanordnung **28** bilden, wird also von der p+-aufgebrachten

Epi-Schicht **54** und der hochohmigen Schicht **44** ausgebildet, wobei die p+-aufgebrachte Epi-Schicht **54** auch als die Verbindung zwischen den Photodioden **60** und der Durchkontaktierung **50**, speziell des leitenden Refills (z. B. des dotierten Poly-Materials **52**), wirkt.

**[0032]** Das Ätzen definiert so die pixelige Anordnungsstruktur. Zusätzliche Prozesse können bereitgestellt werden, zum Beispiel unter Verwendung eines geeigneten Diffusions- oder Graben-/Ätzungsprozesses zum Isolieren benachbarter Photodioden **60** voneinander. Dementsprechend bildet die Epi-Schicht-Ätzung die pixelige Struktur der Photodiodenanordnung **28**. Das zusätzliche Isolationsgebiilde zwischen Pixeln in diversen Ausführungsformen definiert ein 2D-Isolationsgebiilde. Es ist zu beachten, dass das Isolationsgebiilde zwischen Pixeln aus einem geätzten Grabengitter hergestellt werden kann oder von einem Diffusionsgitter gebildet werden kann, wobei die Diffusion den gleichen Dotierungstyp wie die hochohmige Schicht **44** (z. B. Bauelementeschicht) hat und tief genug ist, um das Substrat **42** zu erreichen.

**[0033]** Danach ist nach der Fertigung der Photodiodenanordnung **28** speziell eine Vorderseitenbeschichtung und eine rückseitige Anfertigung von Elektronik vorgesehen, wie in [Fig. 5](#) gezeigt. Speziell wird auf der Beleuchtungsseite **46** des Wafers **40** eine weitere SiO<sub>2</sub>-Schicht **62** ausgebildet. Die SiO<sub>2</sub>-Schicht **62** wird zum Beispiel durch ein chemisches Gasphasenabscheidungsverfahren (CVD) mit relativ niedriger Temperatur hergestellt.

**[0034]** Der Wafer **40** wird dann umgedreht, um auf der Zwischenverbindungsseite **48** die Elektronik, z. B. die Ausleseelektronik **30**, herzustellen, z. B. unter Verwendung eines CMOS-Prozesses für die Anfertigung elektronischer Komponenten. Der CMOS-Prozess kann verwendet werden, weil die Vorderseite, nämlich die Beleuchtungsseite **46** des Wafers **40**, kein Metall aufweist.

**[0035]** Dementsprechend werden in verschiedenen Ausführungsformen mithilfe von CMOS-Methoden integrierte Dioden-/Auslesebauelemente auf der Beleuchtungsseite **46** und der Zwischenverbindungsseite **48** ausgebildet, ohne einen koordinierten doppelseitigen Fotolithografieprozess zu verwenden. Zum Beispiel wird auf der Zwischenverbindungsseite **48** eine Auslesekomponente wie die Ausleseelektronik **30** ausgebildet, die Metallisierungen **64a** und **64b** beinhaltet, welche die Ausleseelektronik **30** mit der Durchkontaktierung **50** bzw. mit anderen Komponenten (z. B. Detektorverarbeitungskomponenten) verbinden.

**[0036]** Es ist zu beachten, dass bei der Fertigung jede geeignete CMOS-Fertigungsmethode verwen-

det werden kann. Auch können die verschiedenen Schichten anhand eines beliebigen geeigneten Prozesses gebildet werden, wie z. B. u. a. Epitaxie, wie oben beschrieben, oder direktes Silizium-Silizium-Bonden. Der zum Bilden der Schichten verwendete Prozess kann sich z. B. auf die Bauelementanforderungen oder die Dicke der Schichten stützen.

**[0037]** Die Metallisierung **64a** kann einen elektrischen Verbinder (z. B. eine Aluminiumstreifen) zum elektrischen Verbinden der Durchkontaktierung **50** mit der Ausleseelektronik **30** definieren. Die Metallisierung **64b** kann in verschiedenen Ausführungsformen z. B. Daten- oder Steuerungzwischenverbindungs-Bindungen (z. B. Epoxidharz oder Lot) sein, die digitale Signalzwischenverbindungen sind. Die Metallisierung **64b** kann aus einem beliebigen geeigneten Material hergestellt sein, wie u. a. z. B. Metall, Lot (z. B. Lötpunkte oder Lötkügelchen) oder leitfähigem Klebstoff (Epoxidharz und einem Füllstoff, wie z. B. Nickel oder Graphit). Die Metallisierung **64b** stellt z. B. digitale Kommunikation und Stromübertragung bereit.

**[0038]** Es ist zu beachten, dass das Kanal-Layout für die Ausleseelektronik **30** im Allgemeinen eine pixelige Struktur hat, die zur Ausgestaltung der Photodioden **60**, die in einer 2D-Anordnung angeordnet sein können, komplementär ist. Es ist aber zu beachten, dass der Kanalabstand für die Ausleseelektronik **30** kleiner als der Abstand der Anordnung für die Photodioden **60** sein kann, was für Beabstandung sorgt, z. B. um passive Komponenten (z. B. Stromleitungsfilterkomponenten) aufzunehmen.

**[0039]** So kann eine Ausgestaltung aus Photosensoranordnung und Ausleseelektronik bereitgestellt werden, welche die Photodiodenanordnung **28** auf einer Seite eines Siliziumwafers **40** und die Ausleseelektronik **30** auf einer anderen Seite des Siliziumwafers **40** beinhaltet, wobei Zwischenverbindungen von leitenden Silizium-Durchkontaktierungen **50** bereitgestellt werden (z. B. Durchkontaktierungen mit stark dotierten Poly-Si-Refills). Bei Verwendung dieser Ausgestaltung kann in verschiedenen Ausführungsformen ein voll zweidimensionaler kachelartig gruppierbarer Siliziumchip für ein CT-Detektormodul bereitgestellt werden. Zum Beispiel können die Photodioden **60** von dem Szintillator **32** (in [Fig. 1](#) gezeigt) erzeugtes Licht erkennen, das auf Basis von auf den Szintillator **32** fallenden Röntgen- oder Gammastrahlen erzeugt wird. Das Licht wird von den Photodioden **60** in elektrische Stromsignale umgesetzt, z. B. zur Verwendung in der CT-Bildgebung.

**[0040]** In verschiedenen Ausführungsformen entsprechen die Photodioden **60** daher Detektorpixeln und pro Pixel ist eine leitende Durchkontaktierung **50** bereitgestellt, wie gezeigt. Die Photodioden bilden so eine Photosensoranordnung. Die leitenden

Durchkontakteierungen **50** stellen die elektrische Verbindung zwischen den Photodioden **60** und der Ausleseelektronik **30** bereit. In verschiedenen Ausführungsformen ist die Ausleseelektronik in einer Korrelation von 1:1 oder etwa 1:1 mit der pixeligen Diodenstruktur bereitgestellt. Die Ausleseelektronik **30** kann z. B. ein A/D-Wandler sein, der auf einer den Photodioden **60** entgegengesetzten Seite des Wafers implantiert oder eingebettet ist.

**[0041]** Verschiedene Ausführungsformen sehen ein in [Fig. 6](#) gezeigtes Verfahren **100** zum Bilden einer Photodiodenanordnung und einer Ausleseelektronik vor, z. B. ein Detektormodul mit einer integrierten Photosensoranordnung und Ausleseelektronik. Speziell beinhaltet das Verfahren **100** das Bereitstellen eines Siliziumwafers an **102**, der in verschiedenen Ausführungsformen ein mehrschichtiger Epi-Wafer ist. Danach wird der Wafer mithilfe einer/eines Silizium-Durchkontakteierungsentwicklung oder -prozesses vorbearbeitet, um leitende Durchkontakteierungen zu bilden, die vom Substrat des Wafers isoliert sind, wie hierin ausführlicher beschrieben wird.

**[0042]** Danach wird an **106** nach einer Strukturätzung auf der Siliziumoxidschicht eine dotierte Epi-Schicht auf eine Beleuchtungsseite des Wafers aufgebracht. Dann erhält die dotierte Epi-Schicht eine Strukturätzung, um die Pixelanordnung zu ergeben. Für jedes Photodiodenpixel in der Anordnung bilden die dotierte Epi-Schicht und das Substrat eine Diode, z. B. eine p-n-Diode.

**[0043]** Die Strukturätzung der Epi-Schicht wird an **108** durchgeführt, um Pixel auf der Beleuchtungsseite zu definieren, wie hierin beschrieben wird. Die Vorderseite des Wafers, nämlich die beleuchtete Seite, wird an **110** beschichtet. Dann wird an **112** die rückseitige Elektronik ausgebildet, z. B. durch Umkehren des Wafers. Die rückseitige Elektronik kann mithilfe von CMOS-Methoden ohne einen koordinierten doppelseitigen Fotolitografieprozess hergestellt werden.

**[0044]** Diverse Ausführungsformen sehen also Systeme und Verfahren zur Anfertigung einer frontbeleuchteten Durchkontakteierungs-Photodiodenanordnung mit durch dotierte Epi-Abscheidung gebildeten Diodenübergängen vor. In einigen Ausführungsformen beginnt die Fertigung mit einem normalen Silizium-Epi-Wafer mit einer hochohmigen Epi-Schicht auf einem Substrat mit einem niedrigeren Widerstand. Nach der Anfertigung von Vorbearbeitungs-Silizium-Durchkontakteierungen am Epi-Wafer wird die Photodiodenanordnung durch dotierte Epi-Schichtabscheidung auf der hochohmigen Schicht mit Strukturätzungen ausgebildet. Die dotierte Epitaxie stellt auch die Verbindung zwischen dem Photodiodenpixel und dem leitenden Poly-Refill der Silizium-Durchkontakteierung bereit. Weil an der Anfertigung der Photodiode keine Metallprozess beteiligt ist, stellt diese

frontbeleuchtete Durchkontakteierungs-Photodiodenanordnung keinen begrenzenden Faktor für die möglichen nachfolgenden Prozesse für die andere Seite dar. Zum Beispiel können CMOS-Prozesse zur Anfertigung von Ausleseelektronikkomponenten an der anderen Seite des Wafers verwendet werden, um integrierte Photodioden- und Ausleseelektronik-Bauelemente ohne die Verwendung nicht standardmäßiger doppelseitiger Fotolitografieprozesse zu erzielen.

**[0045]** Der Siliziumwafer mit integrierter Photosensoranordnung und Ausleseelektronik kann zu kachelartig gruppierbaren 2D-Siliziumchips gestaltet werden, wie z. B. durch einen geeigneten Waferzertrennungsprozess. Danach können die kachelartig gruppierbaren Siliziumchips zum Bilden eines Detektormoduls eingehäust werden, wie z. B. eines CT-Detektormoduls, das digitale Eingänge/Ausgänge und Stromversorgungseingänge von den kachelartig gruppierbaren Siliziumchips bereitstellt.

**[0046]** Zum Beispiel kann, wie in [Fig. 7](#) gezeigt, eine Vielzahl von Sensorkacheln **122**, die gemäß verschiedenen Ausführungsformen bereitgestellt werden, ein Detektormodul **120** bilden. Die Sensorkacheln **122** können einen Post-Patienten-Kollimator, einen Szintillator und die Siliziumchips mit Photosensoranordnungen, wie z. B. wie hierin beschrieben hergestellte Photodiodenanordnungen und Ausleseelektronik, beinhalten. Zum Beispiel kann das Detektormodul **120** als ein CT-Detektormodul konfiguriert sein, das eine Vielzahl, z. B. zwanzig, Sensorkacheln **122** beinhaltet, die zum Bilden einer rechteckigen Anordnung aus fünf Reihen von je vier Sensorkacheln **122** angeordnet sind. Die Sensorkacheln **122** werden auf einem Substrat **124** (z. B. einer Leiterplatte oder einer anderen Art von Substrat) montiert gezeigt, das mit Verarbeitungs- und/oder Kommunikationsschaltungen eines CT-Systems gekoppelt sein kann. Es ist zu beachten, dass Detektormodule **120** mit größeren oder kleineren Anordnungen von Sensorkacheln **122** bereitgestellt werden können. Im Betrieb wird das von den Sensorkacheln **122** erfasste Röntgensignal allgemein anhand einer Integration der gesamten Signalladungen ermittelt, die während einer vordefinierten Zeitspanne erzeugt werden. Andere Formen der Signalabtastung (z. B. Auslesen des jedes einzelnen Röntgenstrahl entsprechenden Signals) können bereitgestellt werden.

**[0047]** Die verschiedenen Ausführungsformen können in Verbindung mit verschiedenen Typen von bildgebenden Systemen realisiert werden. Zum Beispiel ist [Fig. 8](#) eine bildhafte Ansicht eines beispielhaften bildgebenden Systems **200**, das in Übereinstimmung mit verschiedenen Ausführungsformen ausgebildet ist. [Fig. 9](#) ist ein schematisches Blockdiagramm eines Teils des in [Fig. 8](#) gezeigten bildgebenden Systems **200**. Verschiedene Ausführungsformen werden zwar im Zusammenhang mit einem

beispielhaften zweimodalen Bildgebungssystem beschrieben, das ein Computertomografie-(CT-)Bildgebungssystem und ein Positronen-Emissions-Tomographie-(PET-)Bildgebungssystem beinhaltet, es ist aber zu beachten, dass die Verwendung anderer bildgebender Systeme, welche die hierin beschriebenen Funktionen durchführen können, einschließlich monomodaler bildgebender Systeme, in Betracht gezogen werden.

**[0048]** Das multimodale bildgebende System **200** ist abgebildet und beinhaltet ein CT-Bildgebungssystem **202** und ein PET-Bildgebungssystem **204**. Das bildgebende System **200** ermöglicht mehrere Scans in verschiedenen Modalitäten zum ermöglichen einer erhöhten Diagnosekapazität gegenüber monomodalen Systemen. In einer Ausführungsform ist das beispielhafte multimodale bildgebende System **200** ein CT/PET-Bildgebungssystem **200**. Fakultativ werden mit dem bildgebenden System **200** andere Modalitäten als CT und PET eingesetzt. Zum Beispiel kann das bildgebende System **200** u. a. ein eigenständiges CT-Bildgebungssystem, ein eigenständiges PET-Bildgebungssystem, ein Magnetresonanztomographie-(MRI-)System, ein Ultraschall-Bildgebungssystem, ein Röntgensystem und/oder ein Einzelphotonen-Emissionscomputertomografie-(SPECT-)Bildgebungssystem, interventionelle C-Arm-Tomographie, CT-Systeme für einen spezifischen Zweck wie z. B. Extremitätenscans oder Mammographie und Kombinationen davon sein.

**[0049]** Das CT-Bildgebungssystem **202** beinhaltet eine Rotationsgantry **210**, die eine Röntgenstrahlenquelle **212** hat, die einen Röntgenstrahl auf eine Detektoranordnung **214** an der gegenüberliegenden Seite der Gantry **210** projiziert. Die Detektoranordnung **214** beinhaltet eine Vielzahl von Detektorelementen **216**, die in Reihen und Kanälen angeordnet sind, welche zusammen die projizierten Röntgenstrahlen erfassen, die ein Objekt, wie z. B. das Subjekt **206**, durchlaufen, und die als mehrere Detektormodule nach einem oder mehreren der hierin beschriebenen Ausführungsformen konfiguriert sein können. Das bildgebende System **200** beinhaltet auch einen Computer **220**, der die Projektionsdaten von der Detektoranordnung **214** erhält und die Projektionsdaten verarbeitet, um ein Bild des Subjekts **206** zu rekonstruieren. Im Betrieb werden vom Bediener eingespeiste Befehle und Parameter vom Computer **220** verwendet, um Steuersignale und Informationen zur Verstellung eines motorisierten Tisches **222** bereitzustellen. Speziell wird der motorisierte Tisch **222** zum Bewegen des Subjekts **206** in die Gantry **210** hinein und aus ihr heraus genutzt. Insbesondere bewegt der Tisch **222** wenigstens einen Teil des Subjekts **206** durch eine Gantry-Öffnung **224**, die durch die Gantry **210** verläuft.

**[0050]** Wie oben besprochen, beinhaltet der Detektor **214** eine Vielzahl von Detektorelementen **216**. Jedes Detektorelement **216** erzeugt ein(en) elektrisches Signal oder Ausgang, das/der die Intensität eines auftreffenden Röntgenstrahls repräsentiert und daher die Schätzung der Dämpfung des Strahls beim Durchlaufen des Subjekts **206** erlaubt. Während eines Scans zum Erfassen der Röntgenprojektionsdaten drehen sich die Gantry **210** und die daran montierten Komponenten um einen Drehungsmittelpunkt **240**. Die Mehrschicht-Detektoranordnung **214** beinhaltet eine Vielzahl paralleler Detektorreihen von Detektorelementen **216**, so dass während eines Scans einer Vielzahl von Schichten entsprechende Projektionsdaten gleichzeitig erfasst werden können.

**[0051]** Die Drehung der Gantry **210** und der Betrieb der Röntgenstrahlenquelle **212** werden von einem Steuermechanismus **242** bestimmt. Der Steuermechanismus **242** beinhaltet eine Röntgensteuerung **244**, die Elektrizität und Zeitsteuerungssignale an die Röntgenstrahlenquelle **212** anlegt, und eine Gantrymotorsteuerung **246**, die die Umdrehungsgeschwindigkeit und die Position der Gantry **210** steuert. Ein digitaler Datenpuffer (DDB) **248** im Steuermechanismus **242** empfängt und speichert die digitalen Daten aus dem Detektor **214** zur nachfolgenden Verarbeitung. Eine Bildrekonstruktionseinrichtung **250** empfängt die abgetasteten und digitalisierten Röntgendifferenzdaten vom DDB **248** und führt eine Hochgeschwindigkeits-Bildrekonstruktion durch. Die rekonstruierten Bilder werden in den Computer **220** eingegeben, der das Bild in einer Speichervorrichtung **252** speichert. Fakultativ kann der Computer **220** die abgetasteten und digitalisierten Röntgendifferenzdaten vom DDB **248** erhalten. Der Computer erhält über eine Konsole **260** mit einer Tastatur auch Befehle und Scanparameter von einem Bediener. Über ein zugeordnetes Anzeigegerät **262** kann der Bediener das rekonstruierte Bild und andere Daten vom Computer betrachten.

**[0052]** Die vom Bediener eingespeisten Befehle und Parameter werden vom Computer **220** zum Anlegen von Steuersignalen und Informationen an den DDB **248**, die Röntgensteuerung **244** und die Gantrymotorsteuerung **246** verwendet. Außerdem betreibt der Computer **220** eine Tischmotorsteuerung **264**, die den motorisierten Tisch **222** zum Positionieren des Subjekts **206** in der Gantry **210** steuert. Speziell bewegt der Tisch **222** wenigstens einen Teil des Subjekts **206** durch die Gantry-Öffnung **224**, wie in [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) gezeigt.

**[0053]** In einer Ausführungsform, wobei wieder auf [Fig. 9](#) Bezug genommen wird, beinhaltet der Computer **220** eine Vorrichtung **270**, z. B. ein Diskettenlaufwerk, ein CD-ROM-Laufwerk, ein DVD-Laufwerk, ein magneto-optisches (MOD) Laufwerk oder eine andere digitale Vorrichtung einschließlich einer Netzwerkverbindungsvorrichtung wie eine Ethernet-

Vorrichtung zum Auslesen von Anweisungen und/oder Daten von einem computerlesbaren Medium **272** wie einer Diskette, einer CD-ROM, einer DVD oder einer anderen digitalen Quelle wie einem Netzwerk oder dem Internet sowie noch zu entwickelnden digitalen Mitteln. In einer weiteren Ausführungsform führt der Computer **220** in Firmware (nicht gezeigt) gespeicherte Anweisungen aus. Der Computer **220** ist zur Durchführung der hierin beschriebenen Funktionen programmiert und der hierin verwendete Begriff Computer ist nicht nur auf jene integrierten Schaltungen beschränkt, die in der Technik als Computer bezeichnet werden, sondern bezieht sich weit gefasst auf Computer, Prozessoren, Mikrocontroller, Mikrocomputer, speicherprogrammierbare Steuerungen, anwendungsspezifische integrierte Schaltungen und andere programmierbare Schaltungen und diese Begriffe werden hierin untereinander austauschbar verwendet.

**[0054]** In der beispielhaften Ausführungsform werden die Röntgenstrahlenquelle **212** und die Detektoranordnung **214** mit der Gantry **210** in der Bildgebungsebene und um das abzubildende Subjekt **206** gedreht, so dass sich der Winkel, in dem ein Röntgenstrahl **274** das Subjekt **206** schneidet, ständig ändert. Eine Gruppe von Röntgendifämpfungsmesswerten, d. h. Projektionsdaten, von der Detektoranordnung **214** bei einem Gantry-Winkel wird als eine „Ansicht“ bezeichnet. Ein „Scan“ des Subjekts **206** umfasst einen Satz von bei verschiedenen Gantry-Winkeln oder Blickwinkeln während einer Umdrehung der Röntgenstrahlenquelle **212** und des Detektors **214** gemachten Ansichten. Bei einem CT-Scan werden die Projektionsdaten verarbeitet, um ein Bild zu rekonstruieren, das einem zweidimensionalen Schnittbild durch das Subjekt **206** entspricht.

**[0055]** Oben werden Ausführungsbeispiele für ein multimodales bildgebendes System ausführlich beschrieben. Die veranschaulichten Komponenten des multimodalen bildgebenden Systems sind nicht auf die hierin beschriebenen spezifischen Ausführungsformen beschränkt, die Komponenten jedes multimodalen bildgebenden Systems können vielmehr unabhängig und separat von hierin beschriebenen anderen Komponenten genutzt werden. Zum Beispiel können die oben beschriebenen Komponenten des multimodalen bildgebenden Systems auch in Kombination mit anderen bildgebenden Systemen verwendet werden.

**[0056]** Die verschiedenen Ausführungsformen und/oder Komponenten, z. B. die Module oder Komponenten und Controller in ihnen, können auch als Teil eines oder mehrerer Computer oder Prozessoren implementiert werden. Der Computer oder Prozessor kann ein Rechengerät, ein Eingabegerät, eine Anzeigeeinrichtung und eine Schnittstelle, z. B. für Zugang zum Internet, beinhalten. Der Computer oder Pro-

zessor kann einen Mikroprozessor beinhalten. Der Mikroprozessor kann mit einem Kommunikationsbus verbunden sein. Der Computer oder Prozessor kann auch einen Speicher beinhalten. Der Speicher kann (einen) Direktzugriffsspeicher (RAM) und Festwertspeicher (ROM) beinhalten. Der Computer oder Prozessor kann ferner ein Speichergerät beinhalten, das ein Festplattenlaufwerk oder ein entfernbare Speicherlaufwerk wie ein Diskettenlaufwerk, ein optisches Laufwerk und dergleichen sein kann. Das Speichergerät kann auch eine andere ähnliche Einrichtung zum Laden von Computerprogrammen oder anderen Anweisungen in den Computer oder Prozessor sein.

**[0057]** Der hierin verwendete Begriff „Computer“ oder „Modul“ kann jedes beliebige System auf Prozessorbasis oder Mikroprozessorbasis sein, einschließlich Systemen, die Mikrocontroller, Reduced Instruction Set Computers (RISC), ASIC, Logikschaltungen und jede(n) beliebige(n) andere(n) Schaltung oder Prozessor verwenden, die/der zur Ausführung der hierin beschriebenen Funktionen in der Lage ist. Die obigen Beispiele sind nur veranschaulichend und sollen die Definition und/oder Bedeutung des Begriffs „Computer“ in keiner Weise einschränken.

**[0058]** Der Computer oder Prozessor führt einen Satz von Befehlen aus, die in einem oder mehreren Speicherelementen gespeichert sind, um die Eingabedaten zu verarbeiten. Die Speicherelemente können, je nach Wunsch oder Bedarf, auch Daten oder andere Informationen speichern. Das Speicherelement kann die Form einer Informationsquelle oder eines physikalischen Speicherelements in einer Verarbeitungsmaschine haben.

**[0059]** Der Befehlssatz kann verschiedene Befehle beinhalten, die den Computer oder Prozessor als eine Verarbeitungsmaschine anweisen, bestimmte Vorgänge wie die Verfahren und Prozesse der verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung durchzuführen. Der Befehlssatz kann die Form eines Software-Programms haben, das Teil von (einem) physikalischen nichtflüchtigen computerlesbaren Medium oder Medien bildet. Die Software kann verschiedene Formen haben, wie z. B. System-Software oder Anwendungssoftware. Ferner kann die Software die Form einer Sammlung separater Programme oder Module, eines Programmmoduls in einem größeren Programm oder eines Teils eines Programmmoduls haben. Die Software kann auch modulare Programmierung in der Form von objektorientierter Programmierung beinhalten. Die Verarbeitung von Eingabedaten durch die Verarbeitungsmaschine kann als Reaktion auf Benutzerbefehle oder als Reaktion auf Ergebnisse früherer Verarbeitungen oder als Reaktion auf eine Anforderung von einer anderen Verarbeitungsmaschine erfolgen.

**[0060]** Die hierin verwendeten Begriffe „Software“ und „Firmware“ sind untereinander austauschbar und beinhalten jedes in einem Speicher gespeicherte Computerprogramm zur Ausführung durch einen Computer, einschließlich RAM-Speicher, ROM-Speicher, EPROM-Speicher, EEPROM-Speicher und nichtflüchtiger RAM-Speicher (NVRAM). Die obigen Speichertypen sind nur beispielhaft und daher bezüglich der zur Speicherung eines Computerprogramms verwendbaren Speichertypen nicht beschränkt.

**[0061]** Es ist zu beachten, dass die obige Beschreibung zur Veranschaulichung und nicht zur Einschränkung dienen soll. Zum Beispiel können die oben beschriebenen Ausführungsformen (und/oder Aspekte derselben) in Kombination miteinander verwendet werden. Außerdem können viele Änderungen vorgenommen werden, um ein(e) besondere(s) Situation oder Material an die Lehre der verschiedenen Ausführungsformen anzupassen, ohne von ihrem Umfang abzuweichen. Zwar sind Abmessungen und Materialtypen, die hierin beschrieben werden, zur Definition der Parameter der Erfindung vorgesehen, sie sind aber in keiner Weise beschränkend und lediglich beispielhaft. Der Fachpersonen werden bei der Betrachtung der obigen Beschreibung viele weitere Ausführungsformen einfallen. Der Umfang der verschiedenen Ausführungsformen ist daher in Bezug auf die angehängten Ansprüche zusammen mit dem vollen Umfang von Äquivalenten, zu denen derartige Ansprüche berechtigt sind, zu bestimmen. In den angehängten Ansprüchen werden die Begriffe „beinhalten“ und „in der/dem/denen“ als einfache Äquivalente der Begriffe „aufweisend“ bzw. „wobei“ verwendet. Darüber hinaus werden in den folgenden Ansprüchen die Begriffe „erste“, „zweite“ und „dritte“ usw. lediglich als Bezeichnungen verwendet und es ist nicht vorgesehen, dass sie ihren Objekten numerische Anforderungen auferlegen. Ferner sind die Begrenzungen der folgenden Ansprüche nicht im Mittel-für-eine-Funktion-Format geschrieben und dürfen nicht auf der Basis von 35 USC § 112, sechster Absatz, ausgelegt werden, sofern derartige Anspruchsbeschränkungen nicht und bis sie ausdrücklich den Ausdruck „Mittel für“ gefolgt von einer Funktionsaussage ohne weitere Struktur verwenden.

**[0062]** Diese schriftliche Beschreibung verwendet Beispiele zur Offenbarung der verschiedenen Ausführungsformen, einschließlich der besten Art der Ausführung, und auch, um einer Fachperson die Ausübung der verschiedenen Ausführungsformen zu ermöglichen, einschließlich der Herstellung und Benutzung jedweder Vorrichtungen oder Systeme und der Durchführung eingebundener Verfahren. Der patentfähige Umfang der verschiedenen Ausführungsformen wird durch die Ansprüche definiert und kann weitere Beispiele beinhalten, die der Fachperson einfallen werden. Es ist vorgesehen, dass derartige weitere Beispiele in den Umfang der Ansprüche fallen,

wenn die Beispiele strukturelle Elemente haben, die sich nicht von der wörtlichen Sprache der Ansprüche unterscheiden, oder wenn die Beispiele äquivalente strukturelle Elemente mit unwesentlichen Unterschieden von den wörtlichen Sprachen der Ansprüche beinhalten.

**[0063]** Es sind Photodiodenanordnungen und Fertigungsverfahren vorgesehen. Eine Photodiodenanordnung beinhaltet einen Siliziumwaffer mit einer ersten Oberfläche und einer gegenüberliegenden zweiten Oberfläche und eine Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen durch den Siliziumwafer. Die Photodiodenanordnung beinhaltet ferner eine dotierte epitaktische Schicht auf der ersten Oberfläche, wobei die dotierte epitaktische Schicht und das Substrat eine Vielzahl von Diodenübergängen bilden. Eine Strukturierung definiert eine Anordnung der Diodenübergänge.

### Patentansprüche

1. Photodiodenanordnung, umfassend: einen Siliziumwaffer mit einer ersten Oberfläche und einer gegenüberliegenden zweiten Oberfläche, eine Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen durch den Siliziumwafer und eine strukturierte dotierte epitaktische Schicht auf der ersten Oberfläche, wobei die strukturierte dotierte epitaktische Schicht und das Substrat eine Vielzahl von Diodenübergängen bilden, wobei eine Strukturierung eine Anordnung der Diodenübergänge definiert.
2. Photodiodenanordnung nach Anspruch 1, wobei der Siliziumwafer eine hochohmige epitaktische Schicht mit einer ersten Oberfläche aufweist.
3. Photodiodenanordnung nach Anspruch 2, wobei der Siliziumwafer eine Substratschicht aufweist, wobei die hochohmige epitaktische Schicht einen höheren Widerstand als die Substratschicht hat, wobei die hochohmige epitaktische Schicht und die Substratschicht denselben Dotierungstyp haben.
4. Photodiodenanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen ein dotiertes Poly-Silizium-Refill in ihnen aufweist.
5. Photodiodenanordnung nach Anspruch 4, wobei das dotierte Poly-Silizium-Refill einen anderen Dotierungstyp als der Siliziumwafer hat.
6. Photodiodenanordnung nach Anspruch 4, wobei das dotierte Poly-Silizium-Refill den gleichen Dotierungstyp wie die dotierte epitaktische Schicht auf der ersten Oberfläche hat.
7. Photodiodenanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, die ferner eine dielektrische

Schicht aufweist, die die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen vom Siliziumwafer trennt.

8. Photodiodenanordnung nach Anspruch 7, wobei die dielektrische Schicht eine Siliziumdioxid-( $\text{SiO}_2$ )-Schicht umfasst.

9. Photodiodenanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die dotierte epitaktische Schicht die Vielzahl von Diodenübergängen und die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen elektrisch verbindet.

10. Photodiodenanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, die ferner komplementäre Metall-Oxid-Halbleiter-(CMOS-)Elektronik auf der zweiten Oberfläche aufweist, wobei die CMOS-Elektronik über die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen elektrisch mit der Vielzahl von Diodenübergängen verbunden ist.

11. Photodiodenanordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Substrat ein mehrschichtiges n-dotiertes Silizium ist und die dotierte epitaktische Schicht p-dotiert ist.

12. Photodiodenanordnung nach Anspruch 11, wobei die dotierte epitaktische Schicht eine p+-Typ-dotierte Schicht ist.

13. Photodiodenanordnung nach Anspruch 12, wobei die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen ein dotiertes Poly-Silizium-Refill in ihnen aufweist, das ein p++-Typ-dotiertes Poly-Refill hat.

14. Detektor, umfassend:  
einen Siliziumwafer mit einer ersten Oberfläche und einer gegenüberliegenden zweiten Oberfläche,  
eine Vielzahl von Durchkontaktierungen durch den Siliziumwafer,  
eine Vielzahl von an der ersten Oberfläche ohne Metall gebildeten Photodiode und  
an der gegenüberliegenden zweiten Oberfläche gebildete Ausleseelektronik, wobei die Vielzahl von Photodiode und die Ausleseelektronik durch die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen elektrisch verbunden sind.

15. Detektor nach Anspruch 14, wobei die Ausleseelektronik komplementäre Metall-Oxid-Halbleiter-(CMOS-)Elektronik umfasst.

16. Detektor nach Anspruch 14 oder 15, wobei der Siliziumwafer eine hochohmige epitaktische Schicht mit der ersten Oberfläche und eine Substratschicht aufweist, wobei die hochohmige epitaktische Schicht einen höheren Widerstand als die Substratschicht hat, wobei die hochohmige epitaktische Schicht und die Substratschicht denselben Dotierungstyp haben.

17. Detektor nach einem der Ansprüche 14–16, wobei die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen ein dotiertes Poly-Silizium-Refill in ihnen aufweist, das einen anderen Dotierungstyp als der Siliziumwafer hat, und das dotierte Poly-Silizium-Refill den gleichen Dotierungstyp wie eine dotierte epitaktische Schicht auf der ersten Oberfläche hat.

18. Detektor nach einem der Ansprüche 14–17, der ferner eine dielektrische Schicht aufweist, die die Vielzahl von leitenden Durchkontaktierungen vom Siliziumwafer trennt.

19. Verfahren zum Anfertigen einer Photodiodenanordnung, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Vorbearbeiten eines Siliziumwafers unter Verwendung eines Silizium-Durchkontaktierungsprozesses, Abscheiden einer dotierten epitaktischen Schicht auf einer Oberfläche des vorbearbeiteten Siliziumwafers, um eine Vielzahl von Diodenübergängen zu bilden, und  
Ätzen einer Struktur auf der Oberfläche, um eine Anordnung der Diodenübergänge zu definieren.

20. Verfahren nach Anspruch 19, das ferner das Anfertigen komplementärer Metall-Oxid-Halbleiter-(CMOS-)Elektronik auf einer der Oberfläche mit der dotierten epitaktischen Schicht gegenüberliegenden Oberfläche des vorbearbeiteten Siliziumwafers aufweist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

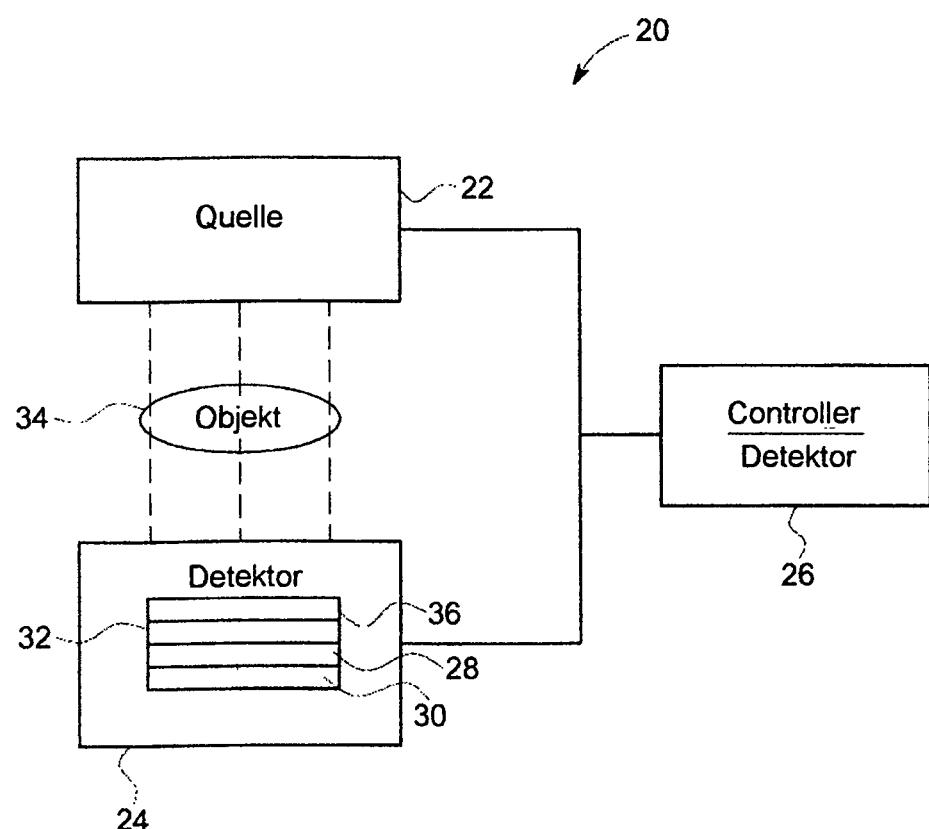
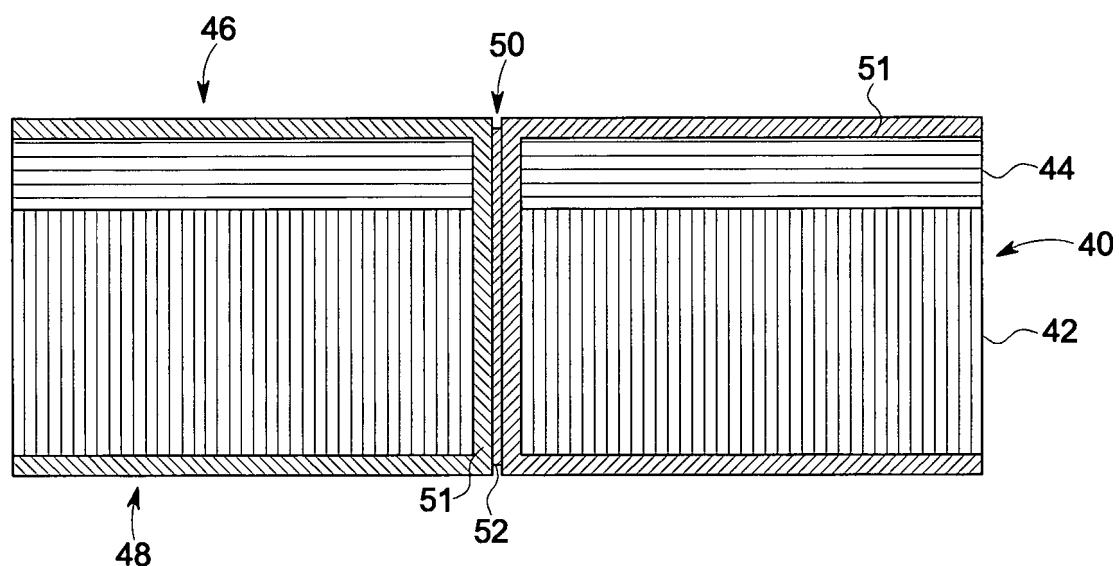
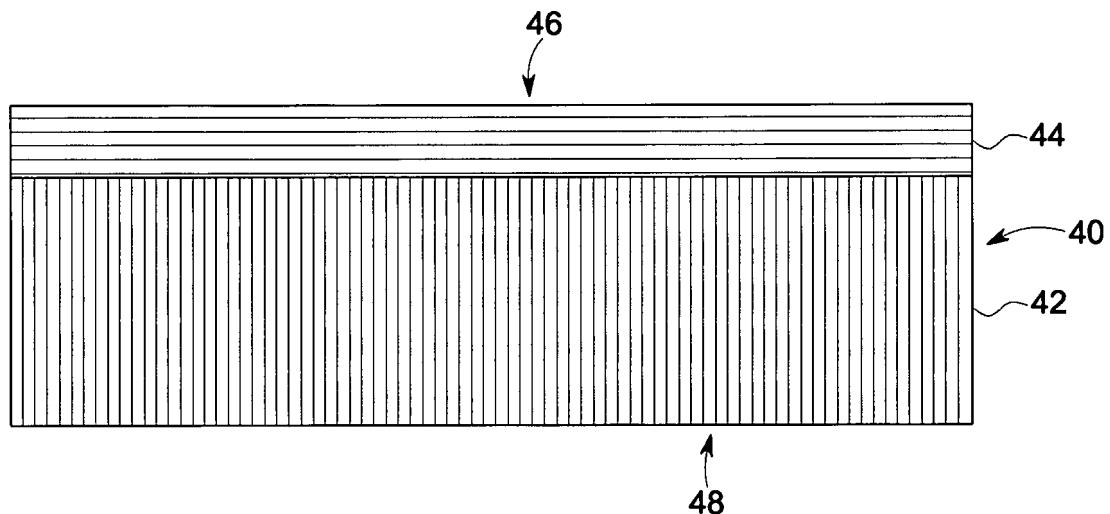
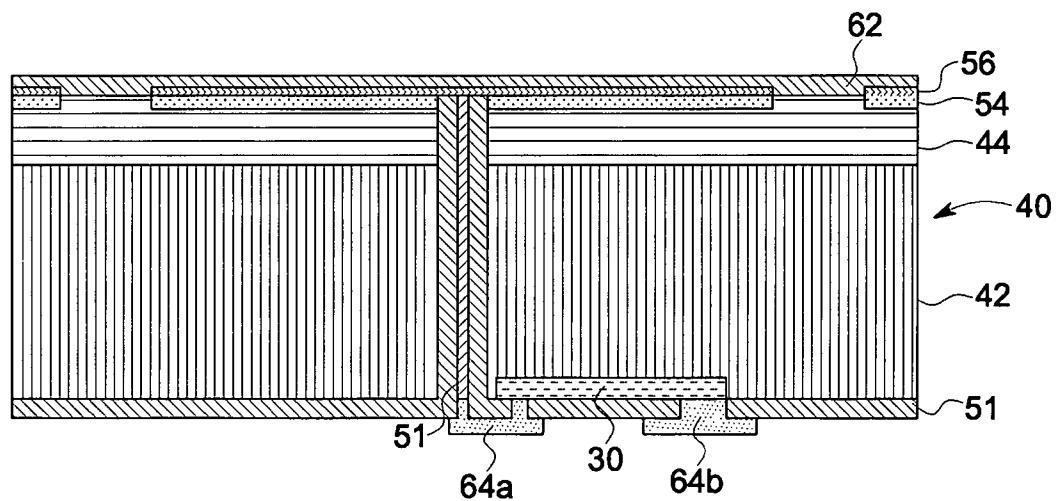
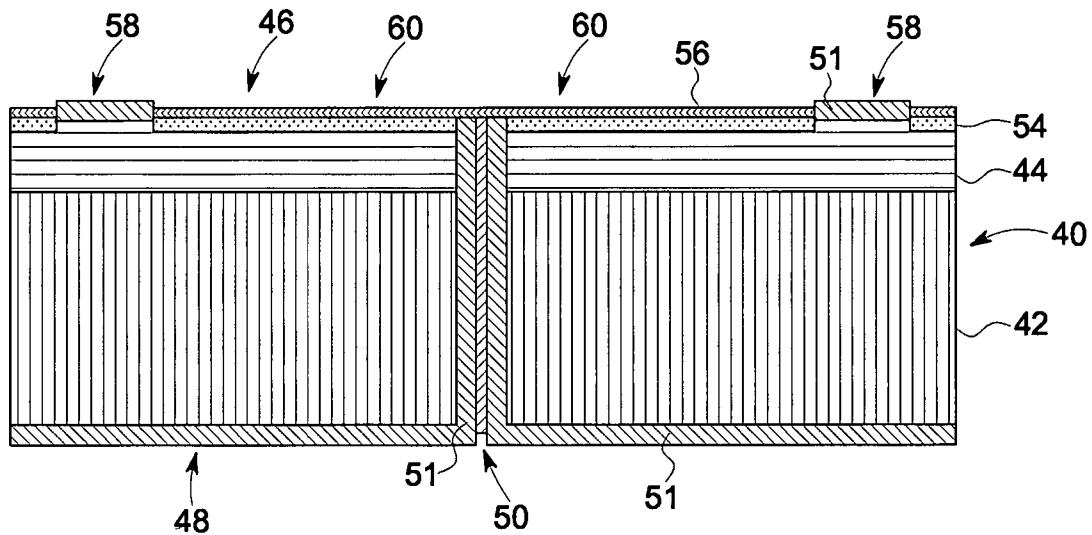


FIG. 1





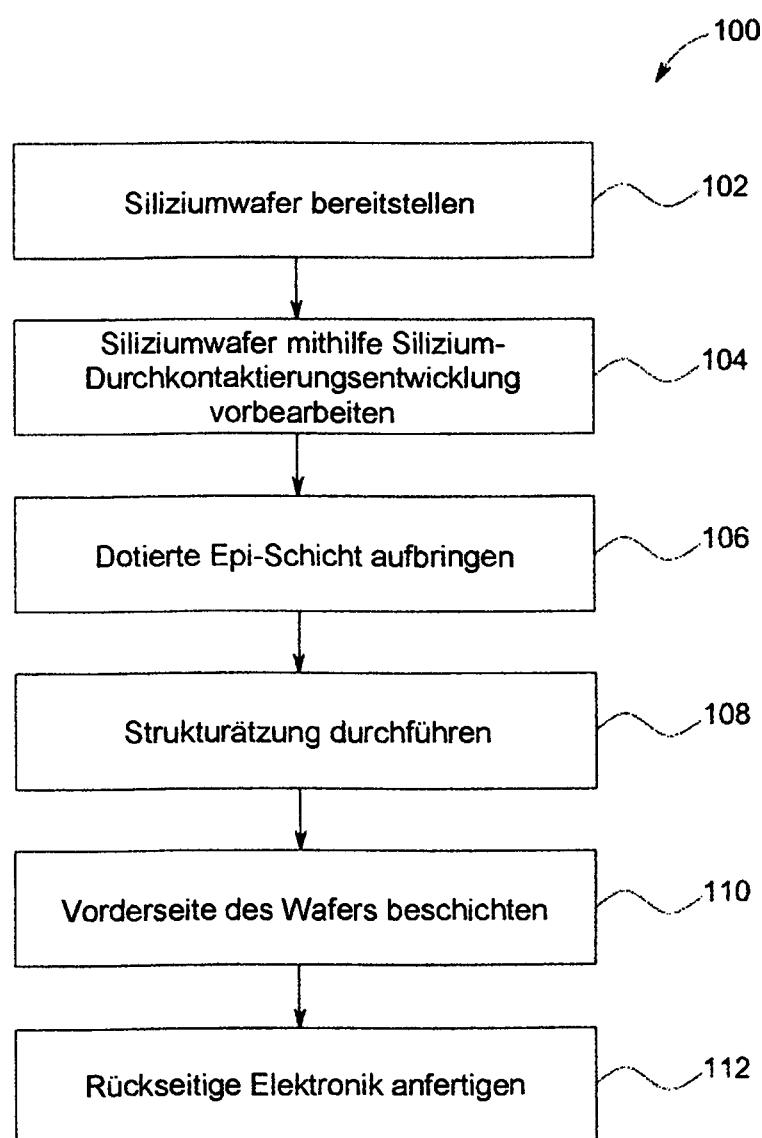


FIG. 6

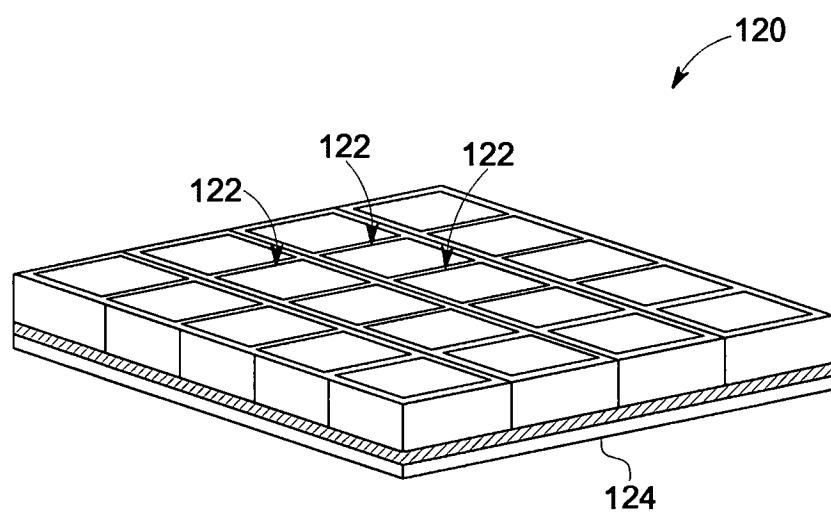


FIG. 7

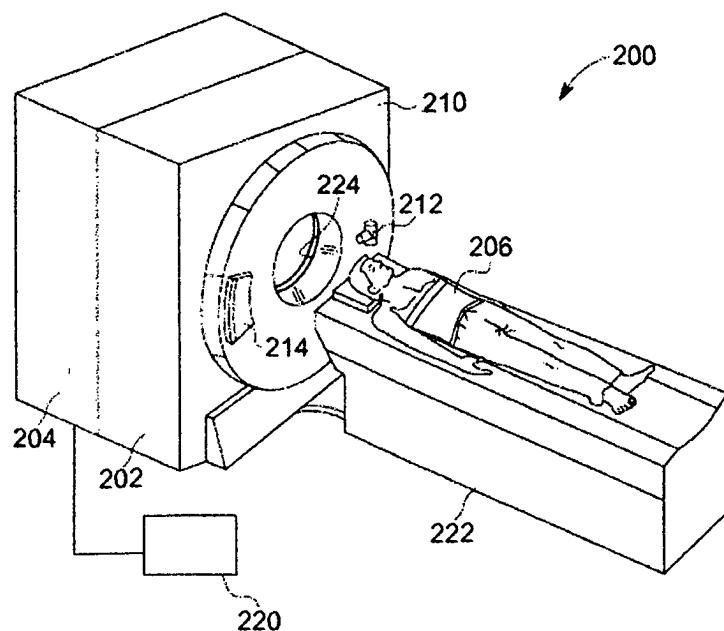


FIG. 8

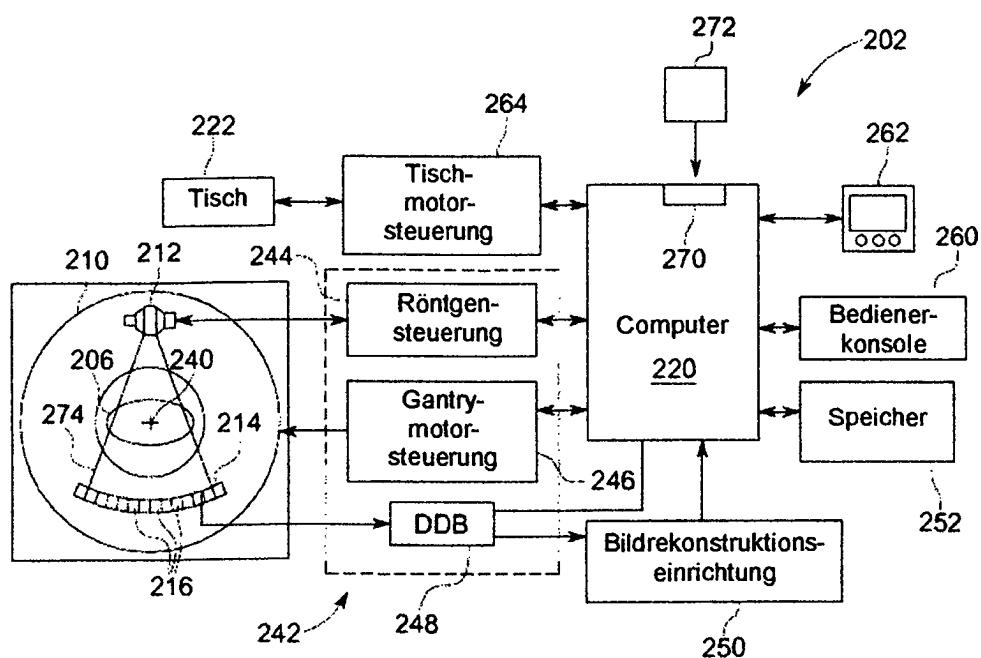


FIG. 9