



(10) DE 10 2015 114 374 A1 2016.03.03

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2015 114 374.7

(51) Int Cl.: H01L 31/115 (2006.01)

(22) Anmelddatum: 28.08.2015

H01L 27/146 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 03.03.2016

H01L 23/58 (2006.01)

H01L 23/552 (2006.01)

G01T 1/24 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

14/471,075

28.08.2014

US

(74) Vertreter:

Viering, Jentschura & Partner mbB Patent- und  
Rechtsanwälte, 01099 Dresden, DE

(71) Anmelder:

Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE

(72) Erfinder:

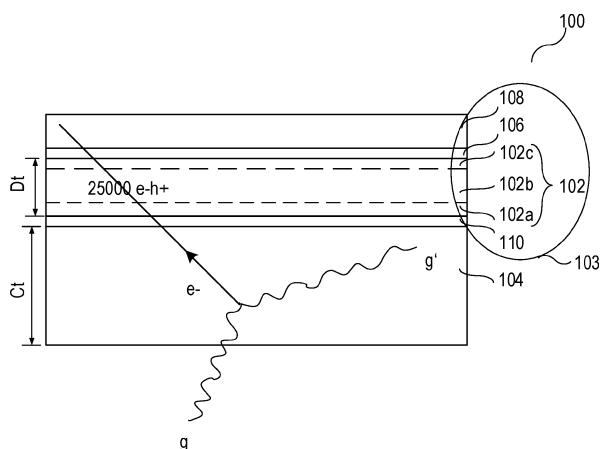
Hacker, Johannes, Villach, AT; Kröner, Friedrich,  
Villach, AT

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: GAMMASTRahlenDETEKTOR UND VERFAHREN ZUR DETEKTION VON GAMMASTRahlen

(57) Zusammenfassung: In verschiedenen Ausführungsformen wird ein Gammastrahlendetektor vorgesehen. Der Gammastrahlendetektor (100) kann ein Wandlerelement (104) umfassen, das ausgelegt ist, ein Elektron freizusetzen, wenn sich der Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement (104) bewegt. Der Gammastrahlendetektor (100) kann ferner umfassen: einen Halbleiterdetektor (103), der eingerichtet ist, das Elektron zu empfangen, und ausgelegt ist, ein Signal zu erzeugen, wenn sich das Elektron wenigstens teilweise durch den Halbleiterdetektor (103) bewegt; und eine Verstärkerschaltung (105), die mit dem Halbleiterdetektor (103) gekoppelt ist und ausgelegt ist, das vom Halbleiterdetektor (103) erzeugte Signal zu verstärken. Im Gammastrahlendetektor (100) kann das Wandlerelement (104) eingerichtet sein, die Verstärkerschaltung (105) wenigstens teilweise gegen elektromagnetische Strahlung abzuschirmen.



## Beschreibung

**[0001]** Verschiedene Ausführungsformen beziehen sich allgemein auf Gammastrahlendetektoren. Insbesondere beziehen sich verschiedene Ausführungsformen auf Halbleiter-Gammastrahlendetektoren.

**[0002]** Eine Person kann auf radioaktive Strahlung treffen (auch als Atomstrahlung bezeichnet), beispielsweise künstliche Atomstrahlung, die von Atomenergiereaktoren oder von Systemen, beispielsweise Beschleunigern, oder Materialien emittiert wird, die für medizinische Anwendungen verwendet werden. Ferner kann in bestimmten Materialien natürliche radioaktive Strahlung auftreten. Die Materialien können Konzentrationsprozessen unterzogen werden, die zu einer Erhöhung ihrer Strahlungspegel führen können. Dennoch können solche Materialien in alltäglichen Produkten verwendet werden, beispielsweise in der Industrie oder im Bauwesen, wo sie ohne Schutzmaßnahmen verwendet werden können, wie Wänden, die als Abschirmung gegen die Strahlung ausgelegt sind.

**[0003]** Ferner kann sich auch jemand, der keinen bekannten Kontakt mit den beschriebenen Quellen radioaktiver Strahlung hat, trotzdem sicherer fühlen, falls er oder sie einen Sensor für die radioaktive Strahlung zu seiner oder ihrer Verfügung hat.

**[0004]** Wenn Anwendungen von Atomstrahlung oder Systemen, die Atomstrahlung emittieren, und/oder ein Bewusstsein für die Strahlung zunehmen, kann auch eine Anforderung für tragbare Sensoren zunehmen, die solche radioaktive Strahlung detektieren. Um es einer großen Anzahl der oben beschriebenen Gruppe potenzieller Benutzer zu ermöglichen, sich einen derartigen Strahlungssensor leisten zu können und zu verwenden, können eine einfache Konstruktion, eine kleine Größe, eine einfache Verwendung und/oder ein niedriger Preis erwünscht sein. Ein solcher Strahlungssensor kann beispielsweise ausgelegt sein, Gammastrahlung zu detektieren. Gammastrahlung kann auch als Gammastrahlen, Gammaphotonen oder Gammaquanten bezeichnet werden. Im Kontext dieser Anmeldung kann sich der Ausdruck „Gammastrahlung“ (und seine Synonyme) auf elektromagnetische Strahlung mit einer Quantenenergie über ungefähr 40 keV beziehen.

**[0005]** Üblicherweise kann Gammastrahlung mittels eines Gasionisierungsdetektors detektiert werden, wie beispielsweise einer Geiger-Müller-Röhre. Solche Gasionisierungsdetektoren können ein relativ großes Volumen für eine Detektion von Gammastrahlung erfordern, so dass eine Miniaturisierung schwierig sein kann.

**[0006]** Alternativ dazu können herkömmliche Gammastrahlendetektoren Halbleitermaterialien für eine

direkte Detektion von Gammaphotonen verwenden. Eine Interaktionswahrscheinlichkeit, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gammaphoton mit dem Halbleitermaterial interagieren wird, beispielsweise mittels eines fotoelektrischen Effekts, einer Compton-Streuung oder einer Paarbildung, kann jedoch sehr niedrig sein, wenigstens verglichen mit einer Interaktionswahrscheinlichkeit für geladene Teilchen, und auch verglichen mit elektromagnetischer Strahlung mit einer niedrigen Energie, beispielsweise elektromagnetischer Strahlung in einem sichtbaren Wellenlängenbereich. Silicium-Detektoren können daher primär für eine Detektion eines Beta-Zerfalls verwendet werden, der zu einer Freisetzung eines Elektrons führen kann. Ein solches Beta-Zerfall-Elektron, das ein geladenes Teilchen ist, kann eine Detektionswahrscheinlichkeit von nahezu 100 % in einem Silicium-Detektor aufweisen. Die Detektionswahrscheinlichkeit für ein Gammaphoton wäre im Silicium-Detektor jedoch viel niedriger. Um die Detektionswahrscheinlichkeit für die Gamma-Photonen zu erhöhen, kann ein Halbleiter mit einer höheren Atomzahl als Detektormaterial verwendet werden. Beispielsweise kann Germanium (mit einer Atomzahl von 32 im Gegensatz zu 14 für Silicium) verwendet werden. Für eine akzeptable Detektionswahrscheinlichkeit kann jedoch weiterhin ein großes Volumen des Germaniums (oder allgemeiner des Halbleiters) erforderlich sein, was wiederum eine Miniaturisierung schwierig macht. Ferner ist Germanium sehr teuer.

**[0007]** In verschiedenen Ausführungsformen wird ein Gammastrahlendetektor vorgesehen. Der Gammastrahlendetektor kann ein Wandlerelement umfassen, das ausgelegt ist, ein Elektron freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement bewegt. Der Gammastrahlendetektor kann ferner umfassen: einen Halbleiterdetektor, der eingerichtet ist, das Elektron zu empfangen, und ausgelegt ist, ein Signal zu erzeugen, wenn sich das Elektron wenigstens teilweise durch den Halbleiterdetektor bewegt; eine Verstärkerschaltung, die mit dem Halbleiterdetektor gekoppelt ist und ausgelegt ist, das vom Halbleiterdetektor erzeugte Signal zu verstärken; und eine Abschirmung, die den Halbleiterdetektor und die Verstärkerschaltung im Wesentlichen vollständig umgibt. Im Gammastrahlendetektor kann das Wandlerelement wenigstens einen Teil der Abschirmung bilden.

**[0008]** In einer Ausgestaltung kann der Halbleiterdetektor aufweisen: wenigstens ein p-dotiertes Gebiet; wenigstens ein n-dotiertes Gebiet; wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt, wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweist als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet; wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigs-

tens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; und wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht. In noch einer Ausgestaltung kann das Wandlerelement an wenigstens eine Fläche des Halbleiterdetektors angrenzen. In noch einer Ausgestaltung kann das Zwischengebiet ein intrinsisches Gebiet sein. In noch einer Ausgestaltung kann das Zwischengebiet ein n-dotiertes Gebiet sein. In noch einer Ausgestaltung kann der Gammastrahlendetektor ferner aufweisen eine Energieversorgung, die ausgelegt ist, eine erste Versorgungsspannung der ersten Elektrode und eine zweite Versorgungsspannung der zweiten Elektrode zuzuführen, wobei die zweite Versorgungsspannung höher ist als die erste Versorgungsspannung. In noch einer Ausgestaltung kann eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und zweiten Elektrode unter 5 V liegen. In noch einer Ausgestaltung kann das Wandlerelement ein Schwermetall oder ein Oxid eines Schwermetalls aufweisen. In noch einer Ausgestaltung kann das Wandlerelement wenigstens ein Material von einer Gruppe von Materialien aufweisen, wobei die Gruppe besteht aus: Blei; Wolfram; Molybdän; Gold; einer Blei-Gold-Legierung; einer Wolfram-Nickel-Legierung und einem Oxid der oben angegebenen Materialien. In noch einer Ausgestaltung kann sich das Wandlerelement entlang wenigstens zwei Seiten des Halbleiterdetektors und der Verstärkerschaltung erstrecken. In noch einer Ausgestaltung kann das Wandlerelement die vollständige Abschirmung bilden. In noch einer Ausgestaltung kann der Halbleiterdetektor eine Mehrzahl von Detektorsegmenten aufweisen. In noch einer Ausgestaltung kann wenigstens ein Teil des Wandlerelements zwischen den Detektorsegmenten angeordnet sein. In noch einer Ausgestaltung kann der Halbleiterdetektor wenigstens ein Material von einer Gruppe von Materialien aufweisen, wobei die Gruppe besteht aus: Silicium; Germanium; einem III-V-Verbindungshalbleiter; einem II-VI-Verbindungshalbleiter; und einem IV-IV-Verbindungshalbleiter. In noch einer Ausgestaltung kann der Halbleiterdetektor als Chip ausgelegt sein.

**[0009]** In verschiedenen Ausführungsbeispielen wird ein Gammastrahlendetektor bereitgestellt, aufweisend: ein Wandlerelement, das ausgelegt ist, Compton-Elektronen aus einfallender Gammastrahlung zu generieren; einen Halbleiterdetektor, der ausgelegt ist, die Compton-Elektronen zu detektieren und ein entsprechendes Detektorsignal zu erzeugen; eine Verstärkerschaltung, die ausgelegt ist, das Detektorsignal zu verstärken; und eine Abschirmung, die den Halbleiterdetektor und die Verstärkerschaltung im Wesentlichen vollständig umgibt, wobei das Wandlerelement wenigstens einen Teil der Abschirmung bildet.

**[0010]** In einer Ausgestaltung kann das Wandlerelement ein Schwermetall oder ein Oxid eines Schwer-

metalls aufweisen. In noch einer Ausgestaltung kann das Wandlerelement die vollständige Abschirmung bilden.

**[0011]** In verschiedenen Ausführungsbeispielen wird ein Verfahren zur Detektion von Gammastrahlen bereitgestellt, wobei das Verfahren aufweist: Bereitstellen eines Gammastrahlendetektors, aufweisend: ein Wandlerelement, das ausgelegt ist, ein Elektron freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement bewegt; und einen Halbleiterdetektor, wobei der Halbleiterdetektor umfasst:

wenigstens ein p-dotiertes Gebiet; wenigstens ein n-dotiertes Gebiet; wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt, wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweist als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet; wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; und wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; Bereitstellen einer Versorgungsspannung für die erste Elektrode und einer zweiten Versorgungsspannung für die zweite Elektrode, wobei die zweite Versorgungsspannung höher ist als die erste Versorgungsspannung, und wobei eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Elektrode unter 5 V liegt; Detektieren eines Signals, das im Halbleiterdetektor verursacht wird, wenn sich das Elektron wenigstens teilweise durch das Halbleitersubstrat bewegt.

**[0012]** In den Zeichnungen beziehen sich gleiche Bezugszeichen allgemein auf die gleichen Teile in allen verschiedenen Ansichten. Die Zeichnungen sind nicht unbedingt maßstabgetreu, wobei stattdessen das Hauptaugenmerk auf die Veranschaulichung der Prinzipien der Erfindung gelegt wird. In der folgenden Beschreibung werden verschiedene Ausführungsformen der Erfindung mit Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen beschrieben, in denen:

**[0013]** **Fig. 1A** und **Fig. 1B** schematische Schnittsichten eines Gammastrahlendetektors gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigen;

**[0014]** **Fig. 2A** einen schematischen Schnitt eines Halbleiterdetektors eines Gammastrahlendetektors gemäß verschiedensten Ausführungsformen zeigt; **Fig. 2B** ein äquivalentes Schaltbild für einen Gammastrahlendetektor gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt; und **Fig. 2C** ein Beispiel für eine Verstärkerschaltung zeigt, die in einem Gammastrahlendetektor gemäß verschiedenen Ausführungsformen verwendet werden kann;

**[0015]** **Fig.** 3A bis **Fig.** 3D Schnittansichten von Gammastrahlendetektoren gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigen;

**[0016]** **Fig.** 4 eine Tabelle von Versuchsergebnissen vorsieht, die mit einem Gammastrahlendetektor gemäß verschiedenen Ausführungsformen und einem Vergleichs-Gammastrahlendetektor erhalten werden;

**[0017]** **Fig.** 5 eine perspektivische Ansicht eines Gammastrahlendetektors gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt; und

**[0018]** **Fig.** 6 ein Verfahren zur Bildung eines Gammastrahlendetektors gemäß verschiedenen Ausführungsformen zeigt.

**[0019]** Die folgende detaillierte Beschreibung bezieht sich auf die beigeschlossenen Zeichnungen, die zur Veranschaulichung spezifische Details und Ausführungsformen zeigen, in denen die Erfindung praktiziert werden kann.

**[0020]** Das Wort „beispielhaft“ wird hier verwendet, um zu bedeuten „als Beispiel, Fall oder Veranschaulichung dienend“. Jede beliebige hier als „beispielhaft“ beschriebene Ausführungsform oder Ausbildung ist nicht unbedingt als bevorzugt oder vorteilhaft gegenüber anderen Ausführungsformen oder Ausbildungen auszulegen.

**[0021]** Das Wort „über“, welches in Bezug auf ein abgeschiedenes Material verwendet wird, das „über“ einer Seite oder Fläche gebildet wird, kann hier verwendet werden, um zu bedeuten, dass das abgeschiedene Material „direkt auf“, z.B. in direktem Kontakt mit, der implizierten Seite oder Fläche gebildet werden kann. Das Wort „über“, welches in Bezug auf ein abgeschiedenes Material verwendet wird, das „über“ einer Seite oder Fläche gebildet wird, kann hier verwendet werden, um zu bedeuten, dass das abgeschiedene Material „indirekt auf“ der implizierten Seite oder Fläche gebildet werden kann, wobei eine oder mehrere zusätzliche Schichten zwischen der implizierten Seite oder Fläche und dem abgeschiedenen Material gebildet sind.

**[0022]** Die Ausdrücke „Schwerelement“ und „Schwermetall“ können so verstanden werden, dass sie sich auf ein chemisches Element mit einer Atomzahl von größer als 20 beziehen.

**[0023]** Die Ausdrücke „schnelles Teilchen“ und „schnelles Elektron“ können so verstanden werden, dass sie sich auf ein Teilchen/Elektron beziehen, das sich mit einer Geschwindigkeit bewegt, die einer kinetischen Energie von wenigstens 20 keV entspricht, z.B. wenigstens 100 keV, z.B. wenigstens 511 keV,

z.B. in einem Bereich von etwa 20 bis etwa 10000 keV.

**[0024]** Die Ausdrücke „im Wesentlichen vollständig umgeben“ und „im Wesentlichen vollständig umschließen“ können als erstes Merkmal verstanden werden, das rund um ein zweites Merkmal aus so vielen Richtungen wie möglich gebildet ist, ohne eine Funktionalität des ersten Merkmals, des zweiten Merkmals und/oder einer Kombination der beiden Merkmale als Einheit zu beeinträchtigen. Beispielsweise kann das zweite Merkmal vom ersten Merkmal umschlossen sein, mit der Ausnahme eines Bereichs, wo ein Zugang, beispielsweise für eine elektrische Kontaktierung des zweiten Merkmals vorgesehen werden kann, um einen Druckausgleich zwischen dem umschlossenen Raum und einer Außenseite zu gestatten und dgl. Das zweite Merkmal kann ferner so verstanden werden, dass es im Wesentlichen vollständig vom ersten Merkmal umschlossen oder umgeben ist, falls eine Fraktion eines Flächenbereichs des zweiten Merkmals, die vom ersten Merkmal bedeckt ist, größer oder gleich etwa 90 % ist, z.B. größer oder gleich etwa 95 %, z.B. größer oder gleich 99 %, mit anderen Worten falls wenigstens etwa 95 %, z.B. wenigstens etwa 99 %, des gesamten Flächenbereichs des zweiten Merkmals vom ersten Merkmal bedeckt sind.

**[0025]** In verschiedenen Ausführungsformen kann ein kleiner Gammastrahlendetektor vorgesehen werden. Der Gammastrahlendetektor kann beispielsweise eine Größe mit einer Fläche von weniger als 5 cm<sup>2</sup> und mit einer Dicke von weniger als 5 mm haben, beispielsweise mit einem Bereich von zwischen 0,5 und 1,5 cm<sup>2</sup> und mit einer Dicke von etwa 0,3 mm.

**[0026]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor mit relativ niedrigen Kosten erzeugt werden. Beispielsweise kann der Gammastrahlendetektor ohne die Verwendung eines großen Volumens eines teuren Halbleiters arbeiten, wie Germanium. Stattdessen kann der Gammastrahlendetektor ein kleines Volumen des Halbleiters als Volumen verwenden, in dem ein Detektionssignal generiert wird, und/oder es kann ein weniger teures Halbleitermaterial, beispielsweise Silicium, verwendet werden.

**[0027]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor für eine Dosisrate empfindlich sein, von der angenommen werden kann, dass sie für Menschen potenziell schädlich ist. Der Gammastrahlendetektor kann für eine Dosisrate von etwa 1 µSv/h empfindlich sein. Mit anderen Worten können Dosisraten von größer oder gleich etwa 1 µSv/h detektiert werden.

**[0028]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor bei einer Operations-

spannung unter ungefähr 5 V betrieben werden. Beispielsweise kann die Operationsspannung des Gammastrahlendetektors einer Operationsspannung einer mobilen Kommunikationsvorrichtung, beispielsweise eines Mobiltelefons, entsprechen. Der Gammastrahlendetektor kann beispielsweise in der mobilen Kommunikationsvorrichtung integriert sein, z.B. im Mobiltelefon, und dessen Operationsspannung als Operationsspannung verwenden. Ein Ausgang eines detektierten Signals kann in verschiedenen Ausführungsformen mittels einer Datenleitung vorgesehen werden, die bei einer niedrigen Spannung arbeitet.

**[0029]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor ein Wandlerelement umfassen. Im Wandlerelement kann einfallende Gammastrahlung eine Compton-Streuung eingehen, die zu einer Freisetzung eines Compton-Elektrons führen kann. Das Compton-Elektron, das schnell oder sogar relativistisch sein kann (wobei ein relativistisches Teilchen, z.B. ein Elektron, so verstanden werden kann, dass es sich auf ein Teilchen/Elektron mit einer kinetischen Energie bezieht, die wenigstens so hoch ist wie seine eigene Ruheenergie), kann in das Halbleitervolumen eintreten. Dort kann das Compton-Elektron Elektron-Loch-Paare generieren, die sich in einem elektrischen Feld trennen können, das im Halbleiter gebildet wird. Dies kann eine Änderung im Potenzial bewirken, das als Signal detektiert werden kann.

**[0030]** Es kann erwartet werden, dass eine Mehrheit der zu detektierenden Gammastrahlung eine Energie bis zu einigen MeV aufweist (beispielsweise kann Caesium-137, das Boden, Wasser, Tiere, Pflanzen, Pilze und Nahrungsmittel nach einem Unfall in einem Atomkraftwerk kontaminieren kann, Gammastrahlung mit einer Energie von 608 keV emittieren). Für diese Energien kann ein dominanter Interaktionsprozess mit Materie, z.B. dem Wandlerelement, die Compton-Streuung sein. Eine Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren (die sogenannte Paarbildung) kann auch eine Rolle spielen und kann zu einem Elektron führen, z.B. einem schnellen, z.B. einem relativistischen Elektron, das in das Halbleitervolumen eintritt, im Wesentlichen genau wie das Compton-Elektron. Wenn nichts anderes angegeben ist, kann, wenn im Folgenden Prozesse beschrieben werden, die im Halbleitervolumen durch ein Compton-Elektron/schnelles/relativistisches Elektron bewirkt werden, das sogenannte Compton-Elektron/schnelle/relativistische Elektron seinen Ursprung auch in einem Paarbildungsprozess haben.

**[0031]** So kann der Gammastrahlendetektor gemäß verschiedenen Ausführungsformen nicht auf die Gammastrahlen zurückgreifen müssen, die direkt mit dem Halbleiter interagieren (die eine sehr niedrige Wahrscheinlichkeit aufweisen können), um ein Detektionssignal zu erzeugen. Stattdessen (oder

zusätzlich) können die Gammastrahlen mit dem Wandlerelement interagieren, das ausgewählt werden kann, eine höhere Interaktionswahrscheinlichkeit mit der Gammastrahlung aufzuweisen als der Halbleiter, und das Compton-Elektron, falls es gestreut wird, um in den Halbleiter einzutreten, kann die Elektron-Loch-Paare generieren, die das Detektionssignal bewirken können. Ein einzelnes schnelles, z.B. relativistisches, Teilchen kann viele Elektron-Loch-Paare in einem Halbleiter generieren. Als Beispiel können in einem Silicium-Chip mit einer Dicke von etwa 280 µm zwischen 20.000 und 30.000 Elektron-Loch-Paare generiert werden. Eine Detektionswahrscheinlichkeit für das schnelle, z.B. relativistische, Teilchen mittels der generierten Elektron-Loch-Paare kann nahezu 100 % betragen.

**[0032]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement ein Material mit einer kleinen Absorptionslänge für Gammastrahlung umfassen oder daraus bestehen, beispielsweise ein Material mit einer hohen Atomzahl, beispielsweise ein Schwermetall (mit einer Atomzahl von über 20), beispielsweise ein Material mit einer Atomzahl von über 30, beispielsweise über 40, beispielsweise über 50, beispielsweise über 60, beispielsweise über 70, beispielsweise Blei, Wolfram oder Gold.

**[0033]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement an den Halbleiter gebondet werden, beispielsweise an den Halbleiter-Chip, beispielsweise an den Silicium-Chip. Das Wandlerelement kann als Schicht gebildet werden, die an den Halbleiter gebondet werden kann.

**[0034]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor Gammastrahlung im Wesentlichen unabhängig von einer Orientierung des Gammastrahlendetektors in Bezug auf eine Quelle der Gammastrahlung detektieren. Mit anderen Worten kann ein Gammastrahlen-Detektionssignal, das vom Gammastrahlendetektor geliefert wird, im Wesentlichen konstant bleiben, wenn sich eine relative Orientierung des Gammastrahlendetektors und der Gammastrahlenquelle ändert.

**[0035]** In verschiedenen Ausführungsformen kann es notwendig sein, das Detektionssignal zu verstärken, beispielsweise mittels wenigstens eines Verstärkers. Der wenigstens eine Verstärker kann beispielsweise als Verstärkerschaltung eingerichtet sein. Die Verstärkerschaltung kann gegen elektromagnetische Strahlung abgeschirmt werden müssen, um richtig zu funktionieren. In verschiedenen Ausführungsformen kann die Verstärkerschaltung an einer Position gebildet oder eingerichtet sein, wo sie wenigstens teilweise gegen elektromagnetische Strahlung mittels des Wandlerelements abgeschirmt werden kann. Auf diese Weise kann eine hohe Signalqualität trotz einer

kleinen Größe des Gammastrahlendetektors erhalten werden.

**[0036]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Verstärkerschaltung auf einem Chip gebildet sein, auf dem auch der Gammastrahlendetektor gebildet ist, wodurch ein integrierter Detektor-Verstärker-Chip gebildet wird, und der Chip kann neben dem Wandlerelement eingerichtet sein. Beispielsweise kann der Chip an das Wandlerelement gebondet sein, oder der Chip kann sandwichartig zwischen zwei Teilen des Wandlerelements angeordnet sein. In verschiedenen Ausführungsformen können die Verstärkerschaltung und der Gammastrahlendetektor getrennt gebildet sein und gekoppelt sein, beispielsweise elektrisch leitfähig gekoppelt sein. Der Gammastrahlendetektor und die Verstärkerschaltung können beide neben dem Wandlerelement eingerichtet sein, beispielsweise kann der Detektor an das Wandlerelement gebondet sein und die Verstärkerschaltung kann auf dem Wandlerelement eingerichtet sein. Der Gammastrahlendetektor und die Verstärkerschaltung können beispielsweise sandwichartig zwischen zwei Teilen des Wandlerelements angeordnet sein. Der Gammastrahlendetektor und die Verstärkerschaltung können, egal ob sie getrennt oder in integrierter Weise gebildet sind, in verschiedenen Ausführungsformen im Wesentlichen vollständig im Wandlerelement eingeschlossen sein oder im Wesentlichen von diesem vollständig umgeben sein, beispielsweise kann das Wandlerelement rund um den Gammastrahlendetektor und die Verstärkerschaltung so gebildet sein, dass nur Öffnungen für Teile belassen werden, die in den und/oder aus dem Hohlraum führen, der vom Wandlerelement gebildet wird, beispielsweise Durchlassöffnungen für wenigstens eine Energieleitung und/oder wenigstens eine Datenleitung.

**[0037]** In verschiedenen Ausführungsformen kann eine zusätzliche Verarbeitung des (verstärkten) Detektionssignals vorgesehen werden, beispielsweise kann das Signal entstört und/oder umgeformt werden. Als Beispiel kann wenigstens ein Signalprozessor zur Verarbeitung des Detektionssignals verwendet werden, z.B. eine sogenannte „Formungsschaltung“, die eine Kombination von Integration und Differenzierung zur Umformung des Detektionssignals verwenden kann.

**[0038]** **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zeigen schematische Schnitte eines Gammastrahlendetektors **100**, **101** gemäß verschiedenen Ausführungsformen.

**[0039]** Gammastrahlung kann natürlich in Dosisraten auftreten, die als nicht schädlich für Menschen angesehen werden können. Atomkraftwerke, nuklearmedizinische Behandlungen, Konzentrationsprozesse natürlicher Substanzen, etc., können jedoch zu einem erhöhten Gammastrahlungspegel führen, der für Menschen schädlich sein kann. Ein kosten-

günstiger Detektor zur Detektion von Gammastrahlung, wenigstens wenn ihr Pegel erhöht ist, so dass er als schädlich für Menschen angesehen werden kann, kann zweckmäßig sein.

**[0040]** Eine Anzahl von Gammaphotonen  $\gamma$ , die einer gegebenen Dosisrate entsprechen können (mit anderen Worten eine Größe eines Gammaphotonenflusses als Funktion der Dosisrate), kann geschätzt werden. Beispielsweise kann eine Dosisrate von  $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$  verwendet werden, die wenigstens für eine langfristige Exposition als schädlich angesehen werden kann.

**[0041]** Ein Photon, das in einen Körper eindringt (zu diesem Zweck kann dieser als fleischähnliche Substanz angesehen werden), kann innerhalb eines Kubikdezimeters (der 1 kg der fleischähnlichen Substanz entsprechen kann) mit einer Wahrscheinlichkeit von 25 % absorbiert werden. Eine Energie, die das Photon im Körper ( $\text{pro cm}^2$ ) verlieren kann, kann ein Flussfaktor = Fläche  $\times q_0 \times E_y (\text{keV}) \times p_{abs}$  sein, wobei die Fläche 100 sein kann, was  $100 \text{ cm}^2$  eines Würfels mit einem Gewicht von 1 kg entspricht;  $q_0$  die elementare Ladung sein kann;  $E_y$  beispielsweise 4000 keV sein kann; und  $p_{abs}$  die Absorptionswahrscheinlichkeit sein kann, die hier als 0,25 angenommen wird. Dies kann zum Flussfaktor =  $1.6 \times 10^{-11} \text{ J}$  führen.

**[0042]** Unter der Annahme einer Dosisrate von  $I_0 = 20 \mu\text{Sv}/\text{h}$  kann dies zu einem Fluss von Fluss ( $4 \text{ MeV} = I_0 / 3600 / 1.0 \times 10^6 / \text{Flussfaktor} = 350 \text{ Photonen/cm}^2/\text{s}$  und zu einem Fluss von Fluss ( $511 \text{ keV} = 2740 \text{ Photonen/cm}^2/\text{s}$  für Gammaphotonen führen, die aus einer Annihilation resultieren. Der Fluss von Annihilationsgammaphotonen kann in der Realität niedriger sein, da mehr als die angenommenen 25 % in 1 kg der fleischähnlichen Substanz absorbiert werden können, daher kann die angenommene Dosisrate von  $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$  ähnlichen Anzahlen von Gammaphotonen entsprechen, egal ob angenommen wird, dass die Gammaphotonen eine Energie von 4 MeV oder von 511 keV haben. Die Anzahl von Gammaphotonen, die einer Dosisrate von  $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$  entsprechen, kann etwa einige 100 Photonen /  $\text{cm}^2/\text{s}$  betragen.

**[0043]** Wie in **Fig. 1A** gezeigt, kann ein Gammaphoton  $\gamma$  in einem Wandlerelement **104** Compton-gestreut werden. Dies kann zu einem Compton-gestreuten Photon  $\gamma'$  führen, das eine niedrigere Energie aufweisen kann als das Gammaphoton  $\gamma$ , und einem Compton-gestreuten Elektron  $e^-$ .

**[0044]** Wie in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigt, kann in verschiedenen Ausführungsformen ein Gammastrahlendetektor **100** einen Halbleiterdetektor **103**, das Wandlerelement **104**, das einen Teil einer Abschirmung **104**, **105** bilden kann, und eine Verstärkerschaltung **120** umfassen.

**[0045]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103** ein Halbleitervolumen **102** (auch als Halbleitermasse bezeichnet) umfassen. Das Halbleitervolumen **102** kann ein Halbleitermaterial umfassen oder im Wesentlichen daraus bestehen. Das Halbleitermaterial kann beispielsweise wenigstens eines von Silicium, Germanium, einem III-V-Verbindungs-Halbleiter, einem II-VI-Verbindungs-Halbleiter oder einem IV-IV-Verbindungs-Halbleiter umfassen oder sein, z.B. Siliciumgermanium, Siliciumcarbid, Cadmiumtellurid, Galliumarsenid, Indiumphosphid oder Quecksilber(II)-iodid.

**[0046]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103**, d.h. das Halbleitervolumen **102**, wenigstens ein p-dotiertes Gebiet **102c**, wenigstens ein n-dotiertes Gebiet **102a** und wenigstens ein Zwischengebiet **102b** umfassen, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet **102c** vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet **102a** trennt. Das wenigstens eine Zwischengebiet **102b** kann eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweisen als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet **102c** und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet **102a**. In verschiedenen Ausführungsformen kann das Halbleitervolumen **102** wie gezeigt eingerichtet sein, wobei das n-dotierte Gebiet **102a** dem Wandlerelement **104** näher ist als das p-dotierte Gebiet **102c**. In verschiedenen Ausführungsformen kann jedoch das Halbleitervolumen **102** mit dem p-dotierten Gebiet **102c** näher beim Wandlerelement **104** eingerichtet sein, oder mit beiden, dem p-dotierten Gebiet **102c** und dem n-dotierten Gebiet **102a**, näher beim Wandlerelement **104**.

**[0047]** Der Halbleiterdetektor **103** kann in verschiedenen Ausführungsformen eingerichtet sein, so nahe wie möglich beim Wandlerelement **104** zu liegen. Eine Distanz zwischen dem Halbleiterdetektor **103** und dem Wandlerelement **104** kann beispielsweise kleiner sein als 1 mm, z.B. kleiner als 100 µm, z.B. kleiner als 10 µm.

**[0048]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103** mit dem Wandlerelement **104** in Kontakt stehen, z.B. in physischem Kontakt, z.B. in direktem physischen Kontakt.

**[0049]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das wenigstens eine n-dotierte Gebiet **102a** ein n<sup>+</sup>-dotiertes Gebiet sein, mit anderen Worten ein hoch-dotiertes n-Typ-Gebiet, beispielsweise ein Gebiet mit einer Konzentration von Dotierungsmittelatomen von ungefähr  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , beispielsweise über ungefähr  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Das Dotierungsmittel kann ein Donor in Bezug auf das Material des Halbleiterdetektors **103** sein. Beispielsweise können für einen Gruppe IV-Halbleiter das Dotierungsmittel Gruppe V-Atome sein, beispielsweise Antimon, Phosphor und/oder Arsen.

**[0050]** Das wenigstens eine n-dotierte Gebiet **102a** kann eine Dicke in einem Bereich von etwa 50 nm bis etwa 10 µm aufweisen, beispielsweise von etwa 500 nm bis etwa 2 µm.

**[0051]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das wenigstens eine p-dotierte Gebiet **102c** ein p<sup>+</sup>-dotiertes Gebiet sein, mit anderen Worten ein hoch-dotiertes p-Typ-Gebiet, beispielsweise ein Gebiet mit einer Konzentration von Dotierungsmittelatomen über ungefähr  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , beispielsweise über ungefähr  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Das Dotierungsmittel kann ein Akzeptor in Bezug auf das Material des Halbleiterdetektors **103** sein. Beispielsweise können für einen Gruppe IV-Halbleiter der Akzeptor beispielsweise Gruppe III-Atome sein, beispielsweise Bor, Aluminium und/oder Gallium.

**[0052]** Das wenigstens eine p-dotierte Gebiet **102a** kann eine Dicke in einem Bereich von etwa 50 nm bis etwa 10 µm aufweisen, beispielsweise von etwa 500 nm bis etwa 2 µm.

**[0053]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das wenigstens eine Zwischengebiet **102b** ein n-dotiertes Gebiet sein, beispielsweise ein n<sup>-</sup>-dotiertes Gebiet, mit anderen Worten ein leicht dotiertes n-Typ-Gebiet. In verschiedenen Ausführungsformen kann das wenigstens eine Zwischengebiet **102b** ein p-dotiertes Gebiet sein, beispielsweise ein p<sup>-</sup>-dotiertes Gebiet, mit anderen Worten ein leicht dotiertes p-Typ-Gebiet. Eine Konzentration von Dotierungsmittelatomen für die leichte Dotierung kann ungefähr  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  oder weniger betragen. In verschiedenen Ausführungsformen kann das Zwischengebiet **102b** nicht dotiert sein. Mit anderen Worten kann das Zwischengebiet **102b** ein sogenannter intrinsischer Halbleiter sein.

**[0054]** In verschiedenen Ausführungsformen kann eine Dicke Dt des Halbleitervolumens **102** eine Dicke eines typischen Halbleiter-Wafers sein. In verschiedenen Ausführungsformen kann die Dicke Dt des Halbleitervolumens **102** kleiner sein als die Dicke eines typischen Halbleiter-Wafers, falls der Wafer beispielsweise gedünnt ist. Die Dicke Dt des Halbleitervolumens **102** kann in einem Bereich von etwa 100 µm bis etwa 1000 µm liegen, beispielsweise etwa 275 µm, etwa 375 µm, etwa 525 µm, etwa 625 µm, etwa 675 µm, etwa 725 µm, etwa 775 µm oder etwa 925 µm.

**[0055]** In verschiedenen Ausführungsformen können sich zwei Hauptseiten (mit zwei entsprechenden Hauptflächen) des Halbleitervolumens **102** unter rechten Winkeln zur Dickenrichtung des Halbleitervolumens **102** erstrecken.

**[0056]** In verschiedenen Ausführungsformen, wie in Fig. 1A und Fig. 1B gezeigt, können das p-dotierte

Gebiet **102c**, das Zwischengebiet **102b** und das n-dotierten Gebiet **102a** eine Schichtstruktur aufweisen. Mit anderen Worten kann sich das p-dotierte Gebiet **102c** entlang einer Hauptfläche des Halbleitervolumens **102** erstrecken, und das n-dotierte Gebiet **102a** kann sich entlang der gegenüberliegenden Hauptfläche des Halbleitervolumens **102** erstrecken. Andere Auslegungen des Halbleitervolumens **102** sind in **Fig. 3A** bis **Fig. 3D** gezeigt und werden in den entsprechenden Teilen der Beschreibung beschrieben.

**[0057]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **100, 101** wenigstens eine erste Elektrode **114** umfassen, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet (in **Fig. 1A** nicht gezeigt, aber siehe beispielsweise **Fig. 1B**) in elektrischem Kontakt steht. Die erste Elektrode **114** kann mit einer Energieversorgung **122** elektrisch verbunden sein.

**[0058]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **100, 101** wenigstens eine zweite Elektrode **110** umfassen, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet **102a** (in **Fig. 1A** nicht gezeigt, aber siehe beispielsweise **Fig. 1B**) in elektrischem Kontakt steht. Die zweite Elektrode **110** kann mit einer Energieversorgung **122** elektrisch verbunden sein.

**[0059]** In verschiedenen Ausführungsformen können die erste Elektrode **114** und die zweite Elektrode **110** mit der Energieversorgung **122** elektrisch verbunden sein, so dass der Halbleiterdetektor **100** in der umgekehrten Richtung vorgespannt ist. Beispielsweise kann die Spannung, die dem n-dotierten Gebiet **102a** mittels der zweiten Elektrode **110** zugeführt wird, und die auch als zweite Versorgungsspannung bezeichnet wird, höher sein als die Spannung, die dem p-dotierten Gebiet **102c** mittels der ersten Elektrode **114** zugeführt wird, und die als erste Versorgungsspannung bezeichnet wird. Als Beispiel kann das p-dotierte Gebiet **102c** mittels der ersten Elektrode **114** mit Masse verbunden sein. In verschiedenen Ausführungsformen kann eine Spannungsdifferenz zwischen der zweiten Versorgungsspannung und der ersten Versorgungsspannung unter 50 V liegen, z.B. unter 5 V. In verschiedenen Ausführungsformen kann, falls beispielsweise der Gammastrahlendetektor **100, 101** ein Teil einer mobilen Vorrichtung, z.B. eines Mobiltelefons, ist, die Energieversorgung **122** die Energieversorgung der mobilen Vorrichtung sein. Mit anderen Worten kann die Spannungsdifferenz zwischen der zweiten Versorgungsspannung und der ersten Versorgungsspannung einer Betriebsspannung der mobilen Vorrichtung entsprechen, d.h. einer Spannungsdifferenz, die den elektronischen Teilen der mobilen Vorrichtung durch die Energieversorgung der mobilen Vorrichtung zugeführt wird, z.B. durch ihre Batterie oder ihren Akkumulator. Beispielsweise wird derzeit häufig eine Betriebsspannung von 3,8 V in Mobiltelefonen verwendet.

det, und die Betriebsspannung von 3,8 V könnte auch zum Treiben des Gammastrahlendetektors verwendet werden.

**[0060]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103** eingerichtet sein, das Compton-gestreute Elektron zu empfangen, das ein schnelles, z.B. relativistisches Elektron  $e^-$  sein kann. Das schnelle Elektron  $e^-$  kann vom Wandlerelement **104** freigesetzt werden. Der Halbleiterdetektor **103** kann so eingerichtet sein, dass ein großer Prozentsatz schneller, d.h. relativistischer Elektronen  $e^-$ , die vom Wandlerelement **104** freigesetzt werden, vom Halbleiterdetektor **103** empfangen werden kann, beispielsweise innerhalb des Halbleitervolumens **102** des Halbleiterdetektors **103**. Beispielsweise kann das Wandlerelement **104** entlang einer oder beider Hauptseiten des Halbleitervolumens **102** eingerichtet sein, z.B. in einer symmetrischen Anordnung, oder das Wandlerelement **104** kann den Halbleiterdetektor **103** im Wesentlichen vollständig umgeben.

**[0061]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103** gegen elektromagnetische Strahlung abgeschirmt sein, z.B. gegen Licht in einem sichtbaren Wellenlängenbereich. Dadurch kann eine Bildung eines Signals im Halbleiterdetektor **103** durch elektromagnetische Strahlung vermieden werden, von der nicht angenommen wird, dass sie detektiert wird. Ferner kann die Verstärkerschaltung **120** gegen elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge unter der Gammastrahlung abgeschirmt werden. Dadurch kann die Bildung eines unerwünschten Signals, beispielsweise eines Rauschsignals, beispielsweise eines Rauschsignals, das durch Strahlung bei Funkfrequenzen eingebracht wird, in der Verstärkerschaltung **120** vermieden oder gemildert werden. In verschiedenen Ausführungsformen kann die Abschirmung mittels einer Abschirmung **104, 105** erzielt werden, wobei wenigstens ein Teil der Abschirmung **104, 105** durch das Wandlerelement **104** gebildet werden kann. Ein Teil **105** der Abschirmung **104, 105**, der nicht vom Wandlerelement **104** gebildet wird, kann durch eine Schicht **105** gebildet werden, die ein Metall, z.B. Kupfer oder Aluminium, umfasst oder daraus besteht. Die Schicht **105** kann eine Dicke in einem Bereich von etwa 0,05 mm bis etwa 1 mm aufweisen, z.B. etwa 0,5 mm. Die Abschirmung **104, 105** kann den Halbleiterdetektor **103** und die Verstärkerschaltung **120** im Wesentlichen vollständig umgeben. Mit anderen Worten kann die Abschirmung den Halbleiterdetektor **103** und die Verstärkerschaltung **120** vollständig umschließen, mit Ausnahme einer Öffnung, die groß genug sein kann, um einen notwendigen Zugang zur Verstärkerschaltung **120** und/oder zum Halbleiterdetektor **103** zu gestatten, z.B. um Spannungsleitungen **110, 114** und/oder wenigstens eine Datenleitung **108** durch die Abschirmung **104, 105** hindurchgehen zu lassen.

**[0062]** Der Halbleiterdetektor **103** kann ferner ausgelegt sein, ein Signal zu erzeugen, wenn sich das schnelle Elektron  $e^-$  wenigstens teilweise durch den Halbleiterdetektor **103** bewegt. Ein solcher Prozess, in dem der (teilweise) Durchgang eines Elektrons bewirkt, dass ein entsprechendes Signal gebildet wird, kann auch als Ereignis bezeichnet werden.

**[0063]** Eine Reihe von Ereignissen, die für eine Dosisrate von  $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$  und für die entsprechende Anzahl oben geschätzter Photonen erwartet werden können, kann wie folgt geschätzt werden: zuerst kann darauf geachtet werden, eine Dicke des Wandlerelements **104** auszuwählen, die ermöglichen kann, dass die Compton-gestreuten Elektronen aus dem Wandlerelement **104** entweichen. Beispielsweise kann ein Wandlerelement **104**, das aus einem Schwerelement mit einer Dicke von mehr als 1 mm besteht, zu dick sein, da die Compton-Elektronen im Wandlerelement **104** steckenbleiben können. Eine Formel zum Schätzen einer mittleren Distanz, die ein Beta-Zerfall-Elektron in einem Material zurücklegen kann und die auch zum Schätzen einer maximalen Distanz  $R_{\max}$  verwendet werden kann, welche ein Compton-Elektron mit einer maximalen Energie  $E_{\max}$  in einem Medium mit einer Dichte  $\rho$  zurücklegen kann, ist  $R_{\max} = E_{\max}/2\rho$ , wobei  $E$  in MeV sein kann und  $\rho$  in  $\text{g}/\text{cm}^3$  sein kann. Dies führt zu einer maximalen Dicke des Wandlerelements **104** von  $R_{\max} = 1,8 \text{ mm}$  für Gammaphotonen mit einer Energie von 4 MeV, falls Blei verwendet wird. Eine Bleischicht mit einer Dicke von etwa 1mm kann daher als Wandlerelement **104** verwendet werden.

**[0064]** Zweitens kann unter der Annahme, dass das Wandlerelement **104** eine Bleischicht mit einer Dicke von  $Ct = 1\text{mm}$  ist und dass die Anzahl der Photonen dem oben geschätzten Photonenfluss entspricht, geschätzt werden, wie viele Photonen im Wandlerelement **104** in Elektronen umgewandelt werden können, beispielsweise mittels der Compton-Streuung oder mittels einer Paarbildung.

**[0065]** Ein Absorptionskoeffizient  $\mu$  für Blei und Gammaphotonen mit einer Energie von 4 MeV kann  $\mu \approx 0,7 / \text{cm}$  sein. Ein Fluss von Gammaphotonen  $I_{\text{pass}}$ , der durch das Wandlerelement **104** mit der Dicke von  $Ct = 1 \text{ mm}$  hindurchgeht, ohne absorbiert zu werden, kann  $I_{\text{pass}} = I_0 \times e^{-\mu Ct} = 0,93 \times I_0$  sein, wobei  $I_0$  der Fluss von Gammaphotonen sein kann, die in das Wandlerelement **104** eintreten. Demgemäß kann  $I_0 - I_{\text{pass}} = 0,068 \times I_0$ , was 6,8 % der 4 MeV Photonen entspricht, im Wandlerelement **104** absorbiert werden. Falls der Fluss stattdessen aus Photonen mit einer Energie von 511 keV besteht, können mehrere von den Photonen im Wandlerelement **104** absorbiert werden, aber die maximale Dicke  $R_{\max}$ , oben berechnet für 4 MeV Photonen, kann auch kleiner sein für Photonen mit einer niedrigeren Energie, was bedeutet, dass mehrere der generierten Elektronen

im Wandlerelement **104** steckenbleiben können (mit anderen Worten können weniger Photonen aus dem Wandlerelement entweichen). Als Folge kann die Anzahl schneller, d.h. relativistischer Elektronen, die im Wandlerelement **104** generiert werden und in den Silicium-Detektor eintreten, ähnlich sein für Photonen mit einer Energie von 4 MeV und Photonen mit einer Energie von 511 keV.

**[0066]** Unter Berücksichtigung eines Raumwinkels, unter dem die Elektronen in den Silicium-Detektor **103** eintreten können, der zu einem Faktor von 0,25 führen kann, kann eine Anzahl von Ereignissen (auch als Zählungen bezeichnet)  $N \approx 350 \text{ photons}/\text{cm}^2/\text{s} \times 0,068 \times 0,25 = 6 \text{ Zählungen}/\text{s}$  für die Dosisrate von  $20 \mu\text{Sv}/\text{h}$  erwartet werden.

**[0067]** Das schnelle, d.h. relativistische Elektron  $e^-$  kann in das Halbleitervolumen **102** mit einer hohen Geschwindigkeit eintreten. Beispielsweise kann die Elektronengeschwindigkeit in Bezug auf die Lichtgeschwindigkeit nicht vernachlässigbar sein. Demgemäß kann das Elektron eine höhere kinetische Energie aufweisen. Während seines Durchgangs oder teilweisen Durchgangs durch das Halbleitervolumen kann wenigstens eine Fraktion der kinetischen Energie des schnellen, d.h. relativistischen Elektrons für eine Bildung von Elektron-Loch-Paaren verwendet werden. Mit anderen Worten kann das schnelle Elektron mittels seines wenigstens teilweisen Durchgangs durch das Halbleitervolumen **102** Ladungsträger generieren (negativ geladene Elektronen und positiv geladene Löcher). Beispielsweise können etwa zwanzig- bis dreißigtausend Elektron-Loch-Paare generiert werden, falls das Halbleitervolumen **102** eine Dicke von etwa  $275 \mu\text{m}$  oder etwa  $280 \mu\text{m}$  aufweist. Die Ladungsträger können frei sein, sich voneinander zu trennen, beispielsweise im Wesentlichen unmittelbar nach ihrer Bildung, und sich im Halbleitervolumen **102** mittels eines elektrischen Felds zu bewegen, das im Halbleitervolumen **102** generiert werden kann (und das sich im Wesentlichen durch das gesamte Halbleitervolumen erstrecken kann, dies aber nicht muss), mittels der ersten Spannung und der zweiten Spannung, die der ersten Elektrode **114** bzw. der zweiten Elektrode **110** zugeführt werden. Die Elektronen können zu einem positiven Potenzial driften, und die Löcher können zu einem negativen Potenzial driften. Beispielsweise können die Elektronen zur zweiten Elektrode **110** driften, der die höhere Spannung zugeführt werden kann, und die Löcher können zur ersten Elektrode **114** driften, der die niedrigere Spannung zugeführt werden kann. Beispielsweise können die Löcher letztlich mit den Elektronen rekombiniert werden, die vom Masse-Kontakt vorgesehen werden.

**[0068]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103** ferner einen Widerstand **112** umfassen, der zwischen der ersten Elektrode **114** und der Energieversorgung **122**, z.B. Masse, gekop-

pelt sein kann. Der Widerstand **122** kann einen hohen Widerstandswert aufweisen, beispielsweise einen Widerstandswert in einem Bereich von etwa 1 MΩ bis etwa 1 GΩ, z.B. von etwa 10 MΩ bis etwa 100 MΩ.

**[0069]** Die Rekombination der Löcher, die durch das schnelle, d.h. relativistische Elektron generiert werden sein können, das durch das Halbleitervolumen **102** hindurchgeht, können vom Widerstand **112** mit dem hohen Widerstandswert verzögert werden. Mit anderen Worten können die Ladungen, die im Halbleitervolumen generiert wurden und die zur ersten Elektrode driften können, Zeit haben, sich an oder in der ersten Elektrode **114** zu akkumulieren.

**[0070]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das p-dotierte Gebiet **102c** von einer Datenleitung **108** mittels eines Dielektrikums **106** getrennt sein, beispielsweise eines Dielektrikums **106**, das als Schicht gebildet ist. Das Dielektrikum **106** kann beispielsweise abgeschieden werden, beispielsweise mittels chemischer Dampfabscheidung (CVD). Alternativ dazu oder zusätzlich kann das Dielektrium beispielsweise durch einen Oxidationsprozess gebildet werden, beispielsweise mittels einer Silicium-Oxidationsprozesse, beispielsweise lokal mittels eines so genannten LOCOS-Prozesses (abgekürzt für „lokale Oxidation von Silicium“). Das Dielektrikum **106** kann auf oder über dem Halbleitervolumen **102** gebildet sein, beispielsweise über dem p-dotierten Gebiet **102c**. Das Dielektrikum **106** kann in verschiedenen Ausführungsformen ein dielektrische Material umfassen oder im Wesentlichen daraus bestehen. Das Dielektrikum **106** kann beispielsweise wenigstens eines von einem Oxid, beispielsweise Siliciumdioxid, Titandioxid oder Aluminiumoxid und ein Nitrid, beispielsweise Siliciumnitrid, umfassen oder im Wesentlichen daraus bestehen.

**[0071]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Dielektrikum **106** eine Dicke in einem Bereich von etwa 50 nm bis etwa 500 nm aufweisen, beispielsweise von etwa 100 nm bis etwa 300 nm, beispielsweise etwa 200 nm.

**[0072]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Datenleitung **108** auf oder über dem Dielektrikum **106** gebildet sein. Sie kann beispielsweise mittels einer Abscheidung gebildet werden. In verschiedenen Ausführungsformen kann die Datenleitung **108** strukturiert werden, beispielsweise während und/oder nach der Bildung der Datenleitung **108**. Die Datenleitung **108** kann aus einem elektrisch leitfähigen Material gebildet sein. Sie kann beispielsweise wenigstens ein Metall umfassen, beispielsweise Aluminium und/oder Kupfer, oder im Wesentlichen daraus bestehen oder daraus bestehen. Die Datenleitung **108** kann eine Dicke im Bereich von etwa 100 nm bis etwa 2 µm aufweisen.

**[0073]** Das p-dotierte Gebiet **102c**, das Dielektrikum **106** und die Datenleitung **108** können so angesehen werden, dass die einen Kondensator bilden. Die Ladung, die sich in einer Hälfte des Kondensators – dem p-dotierten Gebiet **102c** – bildet, kann mittels einer zweiten Hälfte des Kondensators – der Datenleitung **108** – detektiert werden und kann als Detektionssignal von der Datenleitung **108** geliefert werden. Mit anderen Worten können die Ladungen, die sich am oder nahe beim p-dotierten Gebiet **102c** akkumulieren, eine Spannungsverschiebung in der Datenleitung **108** bewirken, die als Detektionssignal registriert werden kann. Das von der Datenleitung **108** gelieferte Detektionssignal kann mittels der Verstärkerschaltung **120** verstärkt werden.

**[0074]** Mit anderen Worten kann ein Gammastrahl eine Freisetzung des schnellen, z.B. relativistischen Elektrons e<sup>-</sup> bewirken, das in das Halbleitervolumen **102** eintreten kann, wobei bewirkt wird, dass sich Elektron-Loch-Paare bilden, von denen die Löcher zum p-dotierten Gebiet **102c** driften, das mit der negativen ersten Elektrode **114** verbunden ist, und von denen die Elektronen zum n-dotierten Gebiet **102a** driften, das mit der positiven zweiten Elektrode **110** verbunden ist. Die Datenleitung **108**, die kapazitiv mit dem p-dotierten Gebiet **102c** gekoppelt sein kann, kann die Akkumulation von Löchern im und/oder nahe beim p-dotierten Gebiet **102c** als Detektionssignal registrieren, das mittels der Verstärkerschaltung **120** verstärkt werden kann.

**[0075]** Eine Kapazität des Dielektrikums **106** und der Widerstandswert des Widerstands **112** können eine Entspannungszeit bestimmen (der Ausdruck „Entspannungszeit“ kann so verstanden werden, dass er eine Zeit bedeutet, die der Detektor nach dem Auftreten eines Ereignisses benötigt, um einen Zustand wieder aufzunehmen, in dem er vor dem Ereignis war). Die Entspannungszeit des Gammastrahlendetektors **100, 101** kann kleiner sein als ein Kehrwert einer erwarteten Frequenz von Ereignissen, d.h. kleiner als ein Kehrwert der Frequenz, mit der erwartet wird, dass die Gammastrahlen ein Detektionssignal im Gammastrahlendetektor **100, 101** verursachen. Mit anderen Worten kann die Entspannungszeit des Gammastrahlendetektors **100, 101** kleiner sein als eine erwartete mittlere Zeit zwischen zwei konsekutiven Ereignissen, die zu detektieren sind. In verschiedenen Ausführungsformen kann die Entspannungszeit des Gammastrahlendetektors **100, 101** eine obere Grenze einer Dosisrate von Gammastrahlung sein, die detektiert werden kann. Falls die Dosisrate hoch genug ist, um Ereignisse mit einer Zeittrennung zu verursachen, die kleiner ist als die Entspannungszeit des Gammastrahlendetektors **100, 101**, kann der Gammastrahlendetektor **100, 101** nicht in der Lage sein, im Wesentlichen alle der Ereignisse zu zählen, mit anderen Worten kann der Gammastrahlendetektor **100, 101** bei einer maximalen Ereignisrate gesät-

tigt sein, die auch als maximale Zählrate bezeichnet werden kann, da ein Ereignis während der Verarbeitung in einen Zählwert umgewandelt werden kann. Die maximale Ereignisrate kann einer maximalen detektierbaren Dosisrate entsprechen und kann durch die Entspannungszeit des Gammastrahlendetektors **100, 101** bestimmt werden.

**[0076]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor **100, 101** einen aktiven Bereich aufweisen, in dem eine Beziehung der Anzahl von Gammaphotonen, die zu detektieren sind, zur Anzahl von Zählwerten, die vom Gammastrahlendetektor **100, 101** gezählt werden, strikt monoton sein kann. Die Beziehung kann beispielsweise linear sein, mit anderen Worten ein Bereich, in dem die Anzahl von Gammaphotonen, die zu zählen sind (z.B. definiert durch eine tatsächliche Dosisrate) und die Anzahl von Zählwerten (z.B. die detektierte Dosisrate) ungefähr linear korrelieren.

**[0077]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Verstärkerschaltung **120** mit dem Halbleiterdetektor **103** gekoppelt sein. Die Verstärkerschaltung **120** kann elektrisch, beispielsweise elektrisch leitfähig, mit dem Halbleiterdetektor **103** gekoppelt sein. Die Verstärkerschaltung **120** kann ausgelegt sein, das Signal zu verstärken, welches vom Halbleiterdetektor erzeugt wird und welches auch als Detektionsignal oder einfach das Signal bezeichnet wird. Die Verstärkerschaltung **120** kann wenigstens einen Verstärker umfassen.

**[0078]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Detektionssignal beispielsweise vor oder nach der Verstärkung mittels der Verstärkerschaltung **120** verarbeitet werden. Das Detektionssignal kann beispielsweise mittels einer Formungsschaltung umgeformt werden, es kann in eine Anzahl von Zählwerten und/oder in eine Zählrate umgewandelt werden (d.h. die Anzahl von Zählwerten pro Zeiteinheit).

**[0079]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor **100, 101** ausgelegt sein, nur ein integriertes Signal vorzusehen, d.h. eine Anzahl von Zählwerten oder eine Zählrate, im Gegensatz zu einem räumlich und/oder spektral aufgelösten Signal. Dies kann in einer Anwendung nützlich sein, wo nur eine Gesamtexposition an Gammastrahlung von Interesse ist, und nicht ein Ort einer Quelle von Gammastrahlung und/oder ein Energiespektrum der detektierten Gammastrahlung. Das Detektieren des Signals in einer räumlich und/oder spektral unaufgelösten Weise kann beispielsweise eine einfache Ausbildung des Gammastrahlendetektors **100, 101**, eine bessere Signalqualität und/oder eine niedrige Betriebsspannung des Gammastrahlendetektors **100, 101** ermöglichen.

**[0080]** Falls ein räumlich aufgelöster Signal zu erzeugen wäre, wäre möglicherweise eine hohe Zeitauflösung des Signals für eine Korrelation des Signals mit einer Ursprungsrichtung erforderlich, beispielsweise kann es nötig sein, dass die Ladungen, die vom schnellen Elektron generiert werden, das durch Halbleitervolumen **102** hindurchgeht, innerhalb einiger Nanosekunden gebildet und getrennt werden. Dies könnte es erforderlich machen, dass das Zwischengebiet **102b** vollständig verarmt ist, was seinerseits eine hohe Spannung erforderlich machen könnte, beispielsweise eine Spannung von mehr als 100 V, beispielsweise 200 V, die an den Halbleiterdetektor **103** anzulegen ist.

**[0081]** Da gewählt wird, kein räumlich aufgelöstes Signal vorzusehen, kann eine niedrige Zeitauflösung des Signals ausreichend sein. Beispielsweise kann es ausreichend sein, falls die Ladungen innerhalb 1 bis 10  $\mu$ s generiert und getrennt werden. Dies kann bedeuten, dass das Zwischengebiet **102b** nicht vollständig verarmt sein muss. Stattdessen kann es ausreichend sein, eine dünne Verarmungszone rund um die erste Elektrode **114** zu bilden. Eine solche Verarmungszone, die sich nicht durch das gesamte Zwischengebiet **102b** erstrecken kann, kann mit einer relativ niedrigen Spannung erzielt werden. In verschiedenen Ausführungsformen kann eine Spannungsdifferenz zwischen der zweiten Versorgungsspannung und der ersten Versorgungsspannung von weniger als 50 V ausreichend sein, beispielsweise unter 40 V, beispielsweise unter 30 V, beispielsweise unter 20 V, beispielsweise unter 10 V, beispielsweise unter 5 V, beispielsweise eine Betriebsspannung einer mobilen Kommunikationsvorrichtung, beispielsweise etwa 3,8 V.

**[0082]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103**, beispielsweise direkt oder indirekt, auf dem Wandlerelement **104** gebildet sein.

**[0083]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** ein Material mit einer kleinen Absorptionslänge für Gammastrahlung umfassen oder im Wesentlichen daraus bestehen. Die Absorptionslänge für Gammastrahlung kann mit zunehmender Atomzahl abnehmen. Mit anderen Worten kann ein Material mit einer höheren Atomzahl wahrscheinlicher mit einem Gammaphoton interagieren als ein Material mit einer niedrigeren Atomzahl.

**[0084]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** ein Schwerelement (auch als Schwermetall bezeichnet) oder ein Oxid eines Schwerelements umfassen oder im Wesentlichen daraus bestehen. Das Wandlerelement **104** kann im Wesentlichen aus dem Schwerelement gebildet sein. Das Schwermetall des Wandlerelements **104** kann eine Atomzahl von mehr als 20 aufweisen, beispielsweise eine Atomzahl von über 30, beispiels-

weise über 40, beispielsweise über 50, beispielsweise über 60, beispielsweise über 70. Das Schwermetall des Wandlerelements **104** kann beispielsweise Blei, Wolfram oder Gold sein. Das Schwerelement des Elektrodes **104** kann eine Atomzahl aufweisen, die wenigstens höher ist als die Atomzahl des Halbleiterdetektors **103**. Auf diese Weise kann eine Interaktionswahrscheinlichkeit für ein Gammaphoton  $\gamma$ , das in den Gammastrahlendetektor **100, 101** eintritt, für das Wandlerelement **104** höher sein als für das Halbleitervolumen **102**.

**[0085]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** schichtartig sein. Mit anderen Worten kann sich das Wandlerelement in zwei Richtungen unter einem rechten Winkel zu einer Dickenrichtung und zueinander viel mehr als in der Dickenrichtung erstrecken. Seiten, orthogonal zur Dicke, können auch als Hauptseiten bezeichnet werden, und entsprechende Flächen als Hauptflächen. Eine Dicke Ct des Wandlerelements **104** kann in einem Bereich von etwa 0,05 mm bis etwa 0,5 mm liegen, beispielsweise etwa 0,1 mm.

**[0086]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** mit einer seiner Hauptseiten entlang einer der Hauptseiten des Halbleitervolumens **102** eingerichtet sein. Das Wandlerelement **104** kann beispielsweise eingerichtet sein, sich mit seiner Hauptseite oder -seiten im Wesentlichen parallel zu den Hauptseiten des Halbleitervolumens **102** zu erstrecken. Wie in **Fig. 1B** gezeigt, kann das Wandlerelement **104** größer sein (orthogonal zu seiner Dicke) als das Halbleitervolumen **102**. Der Halbleiterdetektor **103** kann auf dem Wandlerelement **104** eingerichtet sein. Als Beispiel kann der Halbleiterdetektor **103** auf dem Wandlerelement **104** fixiert sein. Der Halbleiterdetektor **103** kann beispielsweise auf das Wandlerelement **104** geschweißt oder geklebt sein. In einem Gebiet des Wandlerelements **104**, das vom Halbleiterdetektor **103** unbedeckt bleibt, kann die Verstärkerschaltung **120** eingerichtet sein. Die Verstärkerschaltung **120** kann beispielsweise auf derselben Seite des Wandlerelements **104** eingerichtet sein wie der Halbleiterdetektor **103**. Die Verstärkerschaltung **120** kann am Wandlerelement **104** fixiert sein. Die Verstärkerschaltung **120** kann beispielsweise auf das Wandlerelement **104** geschweißt oder geklebt sein. In verschiedenen Ausführungsformen kann sich das Wandlerelement **104** entlang des Halbleiterdetektors **103** und entlang der Verstärkerschaltung **120** erstrecken.

**[0087]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Verstärkerschaltung **120** durch das Wandlerelement **104** gegen unerwünschte elektromagnetische Strahlung abgeschirmt werden, wenigstens teilweise, falls das Wandlerelement **104** nicht so eingerichtet ist, dass es die Verstärkerschaltung im Wesentlichen vollständig umgibt, beispielsweise wie in **Fig. 1B**, wo

das Wandlerelement **104** auf nur einer Seite der Verstärkerschaltung **120** gebildet sein kann. Die Verstärkerschaltung **120** kann gekoppelt, z.B. elektrisch verbunden, z.B. elektrisch leitfähig verbunden sein mit einer Datenleitung **108**. Die Datenleitung **108** kann ausgelegt sein, ein Detektionssignal zu empfangen, das vom Halbleiterdetektor **103** generiert wird, und das Detektionssignal zur Verstärkerschaltung **120** zu senden. Die Verstärkerschaltung **120** kann ausgelegt sein, das von der Datenleitung **108** zugeführte Detektionssignal zu verstärken. Mittels der Abschirmung der Verstärkerschaltung **120** (wenigstens teilweise) gegen elektromagnetische Strahlung kann eine Erzeugung eines Rauschens (der Ausdruck „Rauschen“ kann als Signal verstanden werden, das hier in der Datenleitung **108** und/oder im Verstärker **120** induziert werden kann und das mit einem zu detektieren Ereignis nicht zusammenhängt) in der Datenleitung **108** und/oder in der Verstärkerschaltung **120** gemildert oder vermieden werden. Demgemäß kann auch eine Verstärkung des Rauschens mittels der Verstärkerschaltung **120** gemildert oder vermieden werden.

**[0088]** In verschiedenen Ausführungsformen, wie in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigt, kann sich das Wandlerelement **104** im Wesentlichen parallel zu den Hauptflächen des Halbleitervolumens **102** auf einer Seite des Halbleitervolumens **102** erstrecken. Andere Formen und Auslegungen des Wandlerelements **104** und seiner Anordnung in Bezug auf das Halbleitervolumen **102** und/oder in Bezug auf das p-dotierte Gebiet **102c**, das n-dotierte Gebiet **102a** und das Zwischengebiet **102b** können in **Fig. 3A** bis **Fig. 3D** und den entsprechenden Teilen der Beschreibung gezeigt werden.

**[0089]** **Fig. 2A** zeigt einen schematischen Schnitt eines Halbleiterdetektors **200** eines Gammastrahlendetektors gemäß verschiedenen Ausführungsformen. Wie der in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigte Halbleiterdetektor **103** kann der Halbleiterdetektor **200** eine zweite Elektrode aufweisen, die nicht gezeigt ist. Der Halbleiterdetektor **200** kann im Wesentlichen dem Halbleiterdetektor **103** von **Fig. 1A** und **Fig. 1B** entsprechen, und eine Wiederholung einer Beschreibung identischer oder ähnlicher Teile wird weggelassen. Der Halbleiterdetektor **200** kann ein Teil eines Gammastrahlendetektors **100, 101** sein, wie in **Fig. 1A** und/oder **Fig. 1B** gezeigt. In **Fig. 2A** ist das Dielektrikum **106** nicht als getrennte Struktur gezeigt, beispielsweise eine einzelne Schicht. Stattdessen ist das Dielektrikum **106** nur als Fläche des Halbleitervolumens **102** (des p-dotierten Gebiets **102c**) gezeigt, da das Dielektrikum **106** dort als dünne Struktur gebildet werden kann, beispielsweise eine dünne Schicht, beispielsweise eine dünne Struktur, die ein Oxid oder ein Nitrid umfasst. Ein in der Datenleitung **108** gebildetes Signal, beispielsweise ein Signal, das im Kontext mit **Fig. 1A** und **Fig. 1B** beschrieben wird, kann

eine Spannung U sein, die mit der Zeit t variiert, wie schematisch in **Fig. 2A** durch ein Kurvensignal U(t) **220** gezeigt ist. Das Signal **220**, z.B. die Spannung U(t), kann seine maximale Amplitude bei oder nahe bei einer Mitte des Signals **220** aufweisen. Das Signal **220**, z.B. die Spannung U(t), kann als Spannungs-impuls angesehen werden. Das Signal **220**, z.B. die Spannung U(t), kann eine absolute Spannung sein. Das Signal **220**, z.B. die Spannung U(t), kann eine Spannung sein, die relativ zu einer Basisspannung der Datenleitung **108** gemessen wird, mit anderen Worten kann es eine Spannungsänderung in Bezug auf die Basisspannung der Datenleitung **108** sein. Das Signal **220**, z.B. die Spannung U(t), kann eine positive oder eine negative Spannung sein.

**[0090]** **Fig. 2B** zeigt ein äquivalentes Schaltbild für einen Gammastrahlendetektor **201** gemäß verschiedenen Ausführungsformen.

**[0091]** Im äquivalenten Schaltbild für den Gammastrahlendetektor **202** kann das Halbleitervolumen **102** als Diode **102D** repräsentiert werden, wobei ihre Kathode mit einem Pol einer Energieversorgung **122** mit zwei Polen elektrisch verbunden ist. Die Kathode der Diode **102D** kann mit dem Pol der Energieversorgung **122** mit der höheren Spannung verbunden sein. Der andere Pol kann mit Masse und/oder mit einer Anode der Diode **102D** verbunden sein, beispielsweise mittels des Widerstands **112** und möglicherweise mittels einer elektrischen Verbindung **226**. Das Halbleitervolumen **102** des Gammastrahlendetektors **102** kann so durch die umgekehrt vorgespannte Diode **102D** repräsentiert werden.

**[0092]** Das p-dotierte Gebiet **102c** des Halbleitervolumens **102** kann so angesehen werden, dass es eine Elektrode eines Kondensators **222**, z.B. eine Platte eines Plattenkondensators **222**, bildet, wie in **Fig. 2A** gezeigt, die Datenleitung **108** kann so angesehen werden, dass sie eine zweite Elektrode, z.B. Platte, des Kondensators **222** bildet, und das Dielektrikum **106** kann so angesehen werden, dass es den Spalt zwischen den beiden Elektroden des Kondensators **222** bildet. In einem Fall, wo das Dielektrikum **106** durch ein Oxid gebildet wird oder dieses umfasst, kann der Kondensator **222** als Oxid-Kondensator **222** bezeichnet werden. Auch falls der Kondensator **222** als Oxid-Kondensator **222** bezeichnet werden kann, um ihn vom anderen Kondensator zu unterscheiden, der als Nächstes beschrieben wird (der als Halbleiterkondensator bezeichnet werden kann), kann ein Arbeitsprinzip des Gammastrahlendetektors **201** gültig sein, auch wenn das Dielektrikum **106** kein Oxid umfasst.

**[0093]** Der Halbleiter **102**, in **Fig. 2B** als Diode **102D** symbolisiert, mit seiner Anordnung des p-dotierten Gebiets **102c**, des Zwischengebiets **102b**, das wenigstens teilweise von Ladungsträgern verarmt sein

kann und daher als Dielektrikum betrachtet werden kann, und des n-dotierten Gebiets **102a** kann so angesehen werden, dass er den anderen Kondensator (den Halbleiterkondensator) bildet. Der Halbleiter kann beispielsweise Silicium umfassen. In diesem Fall kann der Halbleiterkondensator als Silicium-Kondensator bezeichnet werden. Eine Trennung der Elektroden (des p-dotierten Gebiets **102c** und des n-dotierten Gebiets **102a**) des Halbleiterkondensators kann im Wesentlichen die Dicke Dt (siehe **Fig. 1A**) des Halbleitersubstrats **102**, beispielsweise eine Wafer-Dicke, sein.

**[0094]** Ein geladenes Teilchen, beispielsweise das schnelle, z.B. relativistische Elektron, kann durch das Halbleitervolumen **102** hindurchgehen, das einen Kristall umfassen oder daraus bestehen kann. Das geladenen Teilchen kann nicht durch das gesamte Halbleitervolumen **102** hindurchgehen und dieses wieder verlassen. Stattdessen kann es im Halbleitervolumen **102** steckenbleiben (mit anderen Worten absorbiert werden). Ein beliebiges geladenes Teilchen, das in das Halbleitervolumen **102** eintritt, kann jedoch so angesehen werden, dass es wenigstens teilweise durch das Halbleitervolumen **102** hindurchgeht. Das geladenen Teilchen kann die Ladungsträger (z.B. die Elektron-Loch-Paare) im Halbleitervolumen **102** generieren und gleiche Ladungsmengen an den Elektroden des Halbleiterkondensators, z.B. des Silicium-Kondensators, bewirken. Dies kann eine Erhöhung der Spannung quer über die Diode **102D**, d.h. den Halbleiterkondensator, z.B. den Silicium-Kondensator, bewirken. In einem ersten Moment kann diese Spannungserhöhung zum Kondensator **222**, z.B. zum Oxid-Kondensator **222**, transferiert werden, bis ein Ladungsausgleich (auf einer Seite mittels des Widerstands **112** zur Energieversorgung **122**, auf der anderen Seite mittels der Datenleitung **108** zur Verstärkerschaltung **102**) einsetzen kann. Eine größere Kapazität des Kondensators **222**, z.B. des Oxid-Kondensators **222**, bedeutet, dass es erforderlich sein kann, dass mehr Ladung fließt, um einen Ladungsausgleich zu erzielen. Das bedeutet, dass eine Signalverarbeitung der Ladung erleichtert werden kann.

**[0095]** Die zweite Elektrode des Kondensators **222**, d.h. die Datenleitung **108**, kann mit der Verstärkerschaltung **120** elektrisch verbunden sein. Das Signal **220** kann zur Verstärkerschaltung **120** mittels einer elektrisch leitfähigen Verbindung transferiert werden. Die Verstärkerschaltung **120** kann wenigstens einen Verstärker **236** umfassen, beispielsweise wenigstens einen Operationsverstärker **236**. Die Verstärkerschaltung **120** kann ferner aktive oder passive elektronische Vorrichtungen umfassen, z.B. Widerstände **232**, **234**, wie in **Fig. 2B** gezeigt. Jede elektronische Vorrichtung der weiteren elektronischen Vorrichtungen kann mit dem Verstärker **236** elektrisch leitfähig gekoppelt sein, beispielsweise kann

sie mit dem Verstärker **236** in Serie gekoppelt sein oder parallel zum Verstärker **236**. In verschiedenen Ausführungsformen kann der Widerstand **232** einem Widerstandswert entsprechen, beispielsweise einem Ohm'schen Widerstandswert, der Datenleitung **108**, der sehr klein sein kann.

**[0096]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Verstärkerschaltung **120** ausgelegt sein, das Signal **220** zu verstärken, das vom Halbleiterdetektor geliefert wird, z.B. durch die Datenleitung **108** des Halbleiterdetektors. Die Verstärkerschaltung **120** kann ein verstärktes Signal **238** des Signals **220**, beispielsweise ein verstärktes invertiertes Signal **238**, liefern. Die Verstärkerschaltung **120** kann beispielsweise als invertierender Verstärker ausgelegt sein, wie in **Fig. 2B** gezeigt. Eine von der Verstärkerschaltung **120** vorgesehene Verstärkung kann von den Widerständen **232** und **234** bestimmt werden. Ein nicht-invertierender Eingang des Verstärkers **236**, der mit „+“ symbolisiert ist, kann geerdet werden, und ein invertierender Eingang des Verstärkers **236**, der mit „-“ symbolisiert ist, kann das Signal **220** empfangen. Das Signal **238** (das Ausgangssignal) kann durch einen Faktor verstärkt werden, der durch ein Verhältnis der Widerstände **234** und **232** bestimmt wird, und das Signal kann invertiert werden. Die Verstärkerschaltung **120** kann nicht nur den gezeigten invertierenden Verstärker umfassen. Alternativ dazu oder zusätzlich kann die Verstärkerschaltung **120** wenigstens ein anderer Verstärker oder eine andere Verstärkerschaltung, beispielsweise ein nicht-invertierender Verstärker oder ein zusätzlicher invertierender Verstärker, sein oder diese umfassen.

**[0097]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das verstärkte Signal **238** mittels einer Ausgangsleitung **230** geliefert werden.

**[0098]** **Fig. 2C** zeigt ein Beispiel einer Verstärkerschaltung **120**, die in einem Gammastrahlendetektor gemäß verschiedenen Ausführungsformen verwendet werden kann, beispielsweise im Gammastrahlendetektor **300, 301, 302** oder **303**.

**[0099]** **Fig. 3A** bis **Fig. 3D** zeigen Teilschnittdarstellungen von im Gammastrahlendetektoren **300, 301, 302** oder **303** gemäß verschiedenen Ausführungsformen.

**[0100]** Teile, Gebiete, Funktionalitäten, etc., der meisten oder aller Elemente der Gammastrahlendetektoren **300, 301, 302** und/oder **303** können den im Kontext von **Fig. 1A** bis **Fig. 2B** beschriebenen entsprechen und können hier nicht wiederholt werden.

**[0101]** Wie in **Fig. 3A** gezeigt, kann sich der Gammastrahlendetektor **300** von den im Kontext mit **Fig. 1A, Fig. 1B** und **Fig. 2A** beschriebenen Gammastrahlendetektoren hauptsächlich durch eine Form seines p-

dotierten Gebiets **102c** und eine Form der Datenleitung **108**, und möglicherweise in der Weise, wie das Signal **220** behandelt wird, unterscheiden.

**[0102]** Im Gammastrahlendetektor **300** können das n-dotierte Gebiet **102a** und das Zwischengebiet **102b** im Wesentlichen als geschichtete Strukturen gebildet sein, wie in **Fig. 1A**, **Fig. 1B** und **Fig. 2A**.

**[0103]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das p-dotierte Gebiet **102c** nicht als Schicht gebildet sein, sondern stattdessen als Mehrzahl einzelner p-dotierter Gebiete **102c**, beispielsweise eine Mehrzahl von Streifen, Stegen, Quadern oder Volumen einer beliebigen anderen Form p-dotierter Gebiete **102c** (die im Folgenden einfach als „Stege“ bezeichnet werden, ohne die Form der einzelnen p-dotierten Gebiete **102c** auf diese bestimmte Form einzuschränken). Die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** ist in **Fig. 3A** im Schnitt gezeigt. Die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** kann im Zwischengebiet **102b** des Halbleiters gebildet sein, beispielsweise mittels Implantation und/oder Diffusion, beispielsweise unter Verwendung eines Fotolithografieprozesses, gefolgt von der Implantation und/oder Diffusion. Die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** kann über im Wesentlichen eine gesamte Hauptfläche des Halbleitervolumens verteilt sein. Im Fall einer länglichen Form der p-dotierten Gebiete **102c**, z.B. der Stege, kann die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** im Wesentlichen parallel eingerichtet sein. Die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** kann im Zwischengebiet **102b** so gebildet sein, dass die einen Teil der Fläche des Halbleitervolumens **102** bilden. Sie können durch Teile des Zwischengebiets **102b** getrennt sein. Die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** kann alternativ dazu oder zusätzlich wenigstens durch Teile des Dielektrikums **106** getrennt sein.

**[0104]** In verschiedenen Ausführungsformen kann jedes von der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** eine Länge, gemessen entlang ihrer längeren Abmessung entlang der Fläche des Halbleitervolumens **102**, in einem Bereich von etwa 10 µm bis etwa 2 cm aufweisen, beispielsweise etwa 1 cm. Jedes von der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** kann eine Breite, gemessen entlang ihrer kürzeren Abmessung entlang der Fläche des Halbleitervolumens **102**, in einem Bereich von etwa 1 µm bis etwa 50 µm aufweisen, beispielsweise etwa 10 µm.

**[0105]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Dielektrikum **106** über der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** und über dem Zwischengebiet **102b** eingerichtet sein, beispielsweise über dem Zwischengebiet zwischen den p-dotierten Gebieten **102c**. Mit anderen Worten kann das Dielektrikum **106** konsekutiv über der Mehrzahl einzelner p-dotierter Gebiete **102c** gebildet sein.

**[0106]** In verschiedenen Ausführungsformen kann eine Mehrzahl von Datenleitungen **108** über der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** eingerichtet sein, wobei das Dielektrikum **106** zwischen der Mehrzahl von Datenleitungen und der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** eingerichtet ist. Beispielsweise kann jede der Mehrzahl von Datenleitungen **108** über einem der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** eingerichtet sein. Mit anderen Worten können die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** und die Mehrzahl von Datenleitungen **108** so angesehen werden, dass sie eine Mehrzahl von p-dotiertes Gebiet/Datenleitung-Paaren bilden, wobei jedes Paar das Dielektrikum **106** sandwichartig zwischen seinen beiden Teilen anordnet. Jedes p-dotiertes Gebiet/Datenleitung-Paar kann so angesehen werden, dass es einen Kondensator **222** bildet, mit anderen Worten kann die Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** zusammen mit der Mehrzahl von Datenleitungen **108** und dem Dielektrikum **106** eine Mehrzahl von Kondensatoren **222** bilden.

**[0107]** Ein Absolutwert des Signals **220**, welches das Elektron, das sich wenigstens teilweise durch das Halbleitervolumen **102** bewegen kann, im Halbleiterdetektor **103** generieren kann, kann geschätzt werden, indem eine Geometrie des Halbleiterdetektors **103** und die Anzahl von Elektron-Loch-Paaren, die typischerweise von einem einzelnen schnellen, z.B. relativistischen Elektron generiert werden können, das sich durch einen Halbleiter bewegt, verwendet werden.

**[0108]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Dielektrikum **106**, das ein Oxid sein kann, beispielsweise Siliciumoxid, eine Breite von 10 µm, eine Länge von 1 cm und eine Dicke von 200 nm aufweisen. Der Kondensator **222** mit diesen Abmessungen kann eine Kapazität von  $C_{\text{diel}} = 16 \text{ pF}$  aufweisen.

**[0109]** Eine Kapazität  $C_{\text{semi}}$  des Halbleiterkondensators **340** kann schwer zu schätzen sein, da sich der Halbleiterkondensator **340** auch lateral von jedem der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** erstrecken kann. Eine Größenordnung der Kapazität  $C_{\text{semi}}$  des Halbleiterkondensators **340** kann auf etwa 1/50 der Kapazität  $C_{\text{diel}}$  des Dielektrikums **106** geschätzt werden, z.B. gilt in diesem Fall  $C_{\text{semi}} = 0,32 \text{ pF}$ .

**[0110]** Das Signal **220**, mit anderen Worten die Spannung  $U$  (oder eher eine Spannungsänderung  $\Delta U$ ), die von einem einzelnen Elektron erhalten wird, das sich wenigstens teilweise durch den Halbleiterdetektor **103** bewegt, kann sein  $\Delta U = \Delta Q/C_{\text{semi}} = 25000 \times q_0/0,3 \text{ pF} = 13 \text{ mV}$ . Wenigstens das Signal **220** kann in dieser Größenordnung liegen. Falls als Beispiel der Halbleiterdetektor eine andere Geometrie hat, kann das Signal **220** verschieden sein, z.B. für einen Halbleiterdetektor mit einem (großen, d.h. größer als jedes der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c**) p-dotierten Gebiet anstelle der Mehrzahl p-dotierter Gebie-

te **102c** kann das Signal **220**, z.B. die Änderung der Spannung  $\Delta U$ , kleiner sein als der oben angegebene Wert um ungefähr einen Faktor, der einem Verhältnis des Bereichs des p-dotierten Gebiets **102c** gegenüber einem Bereich des einen (großen) p-dotierten Gebiets entspricht. Das Signal kann beispielsweise etwa einige µV betragen.

**[0111]** Das Vorliegen einer Schätzung für die Kapazität  $C_{\text{semi}}$  des Halbleiterdetektors **103** (oder des Halbleiterkondensators **340**) kann es ermöglichen, eine Schätzung für eine maximale Frequenz  $f$  zu bestimmen, mit welcher der Halbleiterdetektor **103** ausgelesen werden kann, mit anderen Worten kann es möglich sein, eine minimale Zeit  $t$  zu bestimmen, die der Halbleiterdetektor **103** nach einem Ereignis benötigt, um für das nächste Ereignis wieder empfänglich zu sein (die Entspannungszeit).

**[0112]** Die maximale Frequenz kann sein  $f = 1/(C_{\text{semi}} \times R_{\text{semi}})^{0,5} = 1/(0,3 \text{ pF} \times 0,5 \text{ M}\Omega) 0,5 = 2,6 \text{ kHz}$ , wobei  $R_{\text{semi}}$  ein Widerstandswert des Zwischengebiets **102b** sein kann.

**[0113]** Aus dem obigen Berechnungen und Schätzungen kann der Schluss gezogen werden, dass für einen Gammastrahlendetektor **300** gemäß verschiedenen Ausführungsformen eine Zählrate von einem Ereignis pro Sekunde (die als minimale Zählrate angesehen werden kann) einer Dosisrate von 3 µSv/h entsprechen kann, was etwa dem sechsfachen eines Werts entsprechen kann, der als Wert für natürliche Radioaktivität angesehen werden kann.

**[0114]** Mit einer maximalen Frequenz von etwa 2 kHz kann ein maximaler Dosispegel, der vom Gammastrahlendetektor **300** gemäß verschiedenen Ausführungsformen registriert werden kann, etwa 5 mSv/h betragen. Dosisraten über diesem Pegel können bewirken, dass der Gammastrahlendetektor **300** gesättigt wird (mit anderen Worten in den Überlauf geht).

**[0115]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor **300** einen aktiven Bereich im Bereich von etwa 3 µSv/h bis etwa 5 mSv/h aufweisen.

**[0116]** Verschiedene andere Ausführungsformen, beispielsweise Gammastrahlendetektoren mit anderen Geometrien, beispielsweise die Gammastrahlendetektoren **100**, **101** und **200**, die im Kontext mit **Fig. 1A**, **Fig. 1B** und **Fig. 2A** beschrieben wurden, sowie die Gammastrahlendetektoren **301**, **302**, **303** und **400**, die im Kontext mit **Fig. 3A** bis **Fig. 3D** und **Fig. 4** beschrieben werden, können andere aktive Bereiche aufweisen.

**[0117]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Ausgangssignal **230**, das in **Fig. 2B** gezeigt ist,

wie an den Gammastrahlendetektor **300** von **Fig. 3A** angelegt, ein integriertes Signal sein, z.B. ein integriertes Signal für die Mehrzahl von Datenleitungen **108**. Indem das p-dotierte Gebiet **102c** als Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** gebildet ist, kann dies dazu dienen, die Mehrzahl von Kondensatoren **222** und eine Mehrzahl entsprechender Halbleiterkondensatoren **340** zu bilden. Bei einem Halbleiterdetektor **103**, in dem wenigstens eines von dem p-dotierten Gebiet **102c**, dem Zwischengebiet **102b** und dem n-dotierten Gebiet **102a** nicht als integrales Gebiet gebildet ist, sondern als Mehrzahl einzelner Gebiete (in **Fig. 3a** kann dies der Fall sein für die p-dotierten Gebiete **102c**, und in **Fig. 3B** und **Fig. 3C** für jedes der p-dotierten Gebiete **102c**, der Zwischengebiete **102b** und der n-dotierten Gebiete **102a**), kann der Halbleiterdetektor **103** als segmentierter Halbleiterdetektor **103** bezeichnet werden, und die entsprechenden segmentierten Teile als Detektorsegmente. Die einzelnen Halbleiterkondensatoren **340** können eine kleinere Kapazität aufweisen als ein einzelner Kondensator, der durch das im Wesentlichen gesamte Halbleitervolumen **102** gebildet wird, wie beispielsweise in **Fig. 1A** gezeigt. Es kann jedoch erwartet werden, dass die Ladungsträger (Elektronen und Löcher), die durch das schnelle, z.B. relativistische Elektron generiert werden, das durch das Halbleitersubstrat **102** hindurchgeht, sich im Wesentlichen nur an einem Halbleiterkondensator **340** der Mehrzahl von Halbleiterkondensatoren **340** akkumulieren. Wie aus der Beziehung  $\Delta U = \Delta Q/C_{\text{semi}}$  ersichtlich ist, kann eine kleinere Kapazität zu einer größeren Spannungsänderung (z.B. einer Spannungserhöhung) führen, und daher zu einem größeren Signal. In verschiedenen Ausführungsformen können die Signale von der Mehrzahl von Datenleitungen **108** mittels einer Mehrzahl von Verstärkerschaltungen **120** verstärkt werden. Beispielsweise kann jede Datenleitung **108** der Mehrzahl von Datenleitungen **108** mit einer Verstärkerschaltung **120** gekoppelt sein, beispielsweise elektrisch leitfähig verbunden. Alternativ dazu kann eine Mehrzahl von Datenleitungen **108** mit einer Verstärkerschaltung **120** gekoppelt sein, beispielsweise elektrisch leitfähig verbunden.

**[0118]** In verschiedenen Ausführungsformen können alle der Datenleitungen **108** mit der Verstärkerschaltung **120** gekoppelt sein, beispielsweise elektrisch leitfähig verbunden. Während die räumliche Auflösung der Gammastrahlung eine einzelne Verstärkerschaltung **120** für jede der Datenleitungen **108** (oder allgemeiner für jedes räumliche Auflösungselement) erforderlich machen kann, kann die Bildung eines integrierten Signals für den gesamten Gammastrahlendetektor (d.h. ohne räumliche oder spektrale Auflösung) die Verwendung nur einer gemeinsamen Verstärkerschaltung **120** für alle der Datenleitungen **108** ermöglichen (falls der Widerstand **232** durch die Ohm'schen Widerstandswerte jeder der Datenleitungen gebildet wird, kann die gemeinsame Ver-

stärkerschaltung **120** die Widerstände **232** ausschließen, mit anderen Worten können die Datenleitungen **108** kombiniert werden, um in die Verstärkerschaltung **120** einzutreten, nachdem ihre einzelnen Widerstände **232** passiert wurden). Eine solche Anordnung kann möglich sein, da ein Signal, das in den invertierenden Eingang „-“, des Verstärkers **236** eintritt, unmittelbar das Signal **238** an der Ausgangsleitung **230** veranlasst zu fallen, so dass die vom geladenen Teilchen verursachte Ladung durch den Widerstand **234** abfließen kann, anstatt rückwärts in die anderen Datenleitungen **108** zu fließen und verloren zu gehen. Wie in **Fig. 3B** gezeigt, kann sich der Gammastrahlendetektor **301** vom im Kontext mit **Fig. 3A** beschriebenen Gammastrahlendetektor **300** hauptsächlich durch eine Form seines Zwischengebiets **102b** und seines n-dotierten Gebiets **102a** unterscheiden, und indem er den Halbleiterdetektor **103** aufweist, der im Wandlerelement **104** eingebettet ist.

**[0119]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Zwischengebiet **102b** des Gammastrahlendetektors **301** als Mehrzahl von Zwischengebieten **102b** gebildet sein, beispielsweise als Mehrzahl von Zwischengebieten **102b**, von denen jedes wenigstens teilweise rund um eines der Mehrzahl p-dotierter Gebiete **102c** gebildet sein kann. Jedes der Mehrzahl von Zwischengebieten **102b** kann als Mantel rund um die p-dotierten Gebiete **102c** gebildet sein (oder eher als Hälfte eines Mantels, da jede Struktur des p-dotierten Gebiets **102c** und des Zwischengebiets **102b**, das in einer mantelartigen Weise rund um dieses gebildet ist, an einer Fläche des Substrats enden kann). Rund um die Mehrzahl von Zwischengebieten **102b** kann eine Mehrzahl n-dotierter Gebiete **102a** eingerichtet sein. Mit anderen Worten kann rund um jedes Zwischengebiet **102b** der Zwischengebiete **102b** ein n-dotiertes Gebiet **102a** der Mehrzahl n-dotierter Gebiete **102a** eingerichtet sein. Jedes von der Mehrzahl n-dotierter Gebiete **102a** kann als Mantel rund um eines der Zwischengebiete **102b** gebildet sein (oder eher als Hälfte eines Mantels, da jede Struktur des p-dotierten Gebiets **102c** und des Zwischengebiets **102b**, das in einer mantelartigen Weise rund um das p-dotierte Gebiet **102c** gebildet ist, und des n-dotierten Gebiets **102a**, das in einer mantelartigen Weise rund um das Zwischengebiet **102b** gebildet ist, an einer Fläche des Substrats enden kann).

**[0120]** Mit anderen Worten können, anstatt dass nur die p-dotierten Gebiete **102c** stegförmig gebildet sind, stegförmige Halbleiterdetektoren **103** gebildet werden, die eine Struktur einer Zwiebelschale (oder eher einer halben Zwiebelschale) aufweisen können, mit dem p-dotierten Gebiet **102c** im Zentrum, dem Zwischengebiet **102b**, das beispielsweise n<sup>+</sup>-dotiert sein kann, rund um dieses, und dem n-dotierten Gebiet **102a** rund um das Zwischengebiet **102b**.

**[0121]** Das Dielektrikum **106** kann auf oder über dem p-dotierten Gebiet **102c** und über dem Zwischengebiet **102b** gebildet sein, wie im Kontext mit **Fig. 3A** oben beschrieben, mit dem Unterschied, dass das Dielektrikum **106** des Gammastrahlendetektors **301** mit dem n-dotierten Gebiet **102a** und mit dem Wandlerelement **104** in physischem Kontakt stehen kann. Die Datenleitung **108** kann über dem p-dotierten Gebiet **102c** gebildet sein, wie im Kontext mit **Fig. 3B** beschrieben.

**[0122]** In verschiedenen Ausführungsformen kann eine Distanz D zwischen zwei angrenzenden n<sup>-</sup>-dotierten Gebieten zwischen 50 µm und 500 µm betragen, beispielsweise in einem Bereich von 150 µm bis 250 µm, beispielsweise etwa 200 µm.

**[0123]** In verschiedenen Ausführungsformen können die Mehrzahl stegförmiger (oder streifenförmiger) Halbleiter-, z.B. Silicium-, Detektoren **103** mit den Datenleitungen **108**, die Metall umfassen können, und das Dielektrikum **106**, das eine Oxid-Schicht sein kann, wenigstens teilweise z.B. mittels der MEMS-Technologie getrennt werden. Eine teilweise Trennung durch die MEMS-Technologie kann durchgeführt werden, indem ein p-Typ-Substrat (in **Fig. 3B** oder **Fig. 3C** nicht gezeigt), in dem die Detektorsegmente **103** mit ihren n-Typ-Gebieten, z.B. n<sup>+</sup>-Gebieten, **102a** in Kontakt mit dem p-Typ-Substrat gebildet werden können, einer heißen Basis ausgesetzt wird, während eine Spannung in einem Bereich von etwa 1 V bis etwa 2 V zwischen den n-Typ-Gebieten **102a** als Anoden und einer Gegenelektrode eines inerten Metalls als Kathode in einer elektrochemischen Zelle angelegt wird. Diese Anordnung kann bewirken, dass ein Ätzprozess im p-Typ-Substrat auftritt, um 1 bis 2 µm vor einem pn-Übergang, z.B. einem metallurgischen pn-Übergang, zu stoppen, der durch eine Kontaktfläche zwischen dem p-Typ-Substrat und dem n-Typ-Gebiet **102a** gebildet wird.

**[0124]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** in Räume **352** zwischen den einzelnen Halbleiterdetektoren **103** gefüllt werden. Beispielsweise können die Räume **352** zwischen den einzelnen Halbleiterdetektoren **103** mit dem Wandlerelement **104**, z.B. mit einem Material gefüllt, z.B. vollständig gefüllt werden, das ein Schwellenelement umfasst oder daraus besteht, beispielsweise mit einer Wolfram-Nickel-Legierung W-Ni oder mit einer Gold-Blei-Legierung Au-Pb. In den Räumen **352** kann das Wandlerelement **104** eine Dicke Ct1 aufweisen, die ungefähr oder genau gleich sein kann wie die Dicke des Halbleiterdetektors **103**.

**[0125]** Ein weiterer Teil des Wandlerelements **104** kann unter der Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103**, beispielsweise als Schicht, gebildet sein. Der andere Teil des Wandlerelements **104** kann so gebildet sein, dass untere Flächen **350** der Mehrzahl von

Halbleiterdetektoren **103** vom Wandlerelement **104** bedeckt sind. Der andere Teil des Wandlerelements **104** kann eine Dicke Ct2 aufweisen. Die Dicke Ct2 kann in einem Bereich von etwa 0,3 mm bis etwa 1,5 mm liegen, beispielsweise etwa 0,7 mm.

**[0126]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** wenigstens teilweise im Wandlerelement **104** eingebettet sein. Als Beispiel kann die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** bis zum Dielektrikum **106** im Wandlerelement **104** eingebettet sein.

**[0127]** Als weiterer Weg der Beschreibung der Struktur des Gammastrahlendetektors **301** kann das Wandlerelement **104** angesehen werden, dass es (im Querschnitt) eine kammartige Struktur bildet, und die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** kann angesehen werden, dass sie in Öffnungen der kammartigen Struktur eingerichtet sind.

**[0128]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** beispielsweise mittels des Dielektrikums **106** und/oder wenigstens einer Stützstruktur (nicht gezeigt) zusammengehalten werden, die beispielsweise über dem Dielektrikum **106** und/oder zwischen und/oder unter der Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** eingerichtet sein kann.

**[0129]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** auf der Mehrzahl zusammengehaltener Halbleiterdetektoren **103** beispielsweise mittels eines Eintauchens der Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** in das Material gebildet werden, welches das Wandlerelement **104** bilden kann, beispielsweise ein Bad von geschmolzenem Material, welches das Wandlerelement **104** bilden kann. Die Halbleiterdetektoren **103** können beispielsweise in eine eutektische Mischung von 85 % Blei mit 15 % Gold, beispielsweise bei einer Temperatur von 215°C, eingetaucht werden.

**[0130]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** beispielsweise auf der Mehrzahl zusammengehaltener Halbleiterdetektoren **103** mittels einer Abscheidung gebildet werden, beispielsweise mittels einer Elektroabscheidung, beispielsweise mittels einer Elektroabscheidung von Gold, Blei, einer Mischung von Gold und Blei oder einer Mischung von Nickel und Wolfram.

**[0131]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement **104** beispielsweise auf der Mehrzahl zusammengehaltener Halbleiterdetektoren **103** mittels einer Schmelzsalzelektrolyse gebildet werden, bei der ein typischerweise wässriger Elektrolyt, der für eine Elektroabscheidung verwendet wird, durch ein Schmelzsalz ersetzt werden kann, z.B. ein Schmelzmetallsalz. Die Schmelzsalzelektro-

lyse kann beispielsweise zur Bildung des Wandlerelements **104** verwendet werden, das Wolfram umfasst oder daraus besteht.

**[0132]** In verschiedenen Ausführungsformen kann ein Raumwinkel vergrößert werden, unter dem die Compton-Elektronen und/oder die Paarbildungselektronen, die im Wandlerelement **104** generiert werden, in den Halbleiterdetektor **103** eintreten können.

**[0133]** In verschiedenen Ausführungsformen kann ein kleiner Bereich des Halbleiterdetektors **103**, d.h. jedes der Halbleiterdetektoren **103**, zu einer Abnahme eines Leckstroms führen, wodurch ein Rauschverhältnis verbessert werden kann.

**[0134]** Wie in **Fig. 3C** gezeigt, kann sich der Gammastrahlendetektor **302** vom in Kontext mit **Fig. 3B** beschriebenen Gammastrahlendetektor **301** hauptsächlich dadurch unterscheiden, dass die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** und die Verstärkerschaltung **120** gemeinsam im Wandlerelement **104** eingebettet sein können. Als Beispiel kann die Verstärkerschaltung **120** im Halbleiter **102** gebildet sein, aus dem auch die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** gebildet sein kann. Die Verstärkerschaltung **120** kann von einem angrenzenden Halbleiterdetektor **103** beispielsweise während des oben beschriebenen Prozesses getrennt werden, der die einzelnen Halbleiterdetektoren **103** trennt. Dann kann in verschiedenen Ausführungsformen das Wandlerelement **104** in den Räumen **352** und über den Rückseiten **350** einer kombinierten Struktur der Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** und der Verstärkerschaltung **120** gebildet werden, beispielsweise wie oben im Kontext mit **Fig. 3B** beschrieben. Mit anderen Worten können die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** und die Verstärkerschaltung **120** zusammen im Wandlerelement **104** eingebettet werden. Die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103**, die Verstärkerschaltung **120** und das Wandlerelement **104** können eine monolithische Struktur bilden. Als Alternative zur Bildung aus demselben Halbleiter **102** wie die Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** kann die Verstärkerschaltung **120** getrennt gebildet werden. Die Verstärkerschaltung **120** kann beispielsweise mit der Mehrzahl von Halbleiterdetektoren **103** mittels des Dielektrikums **106** und/oder der wenigstens einen Stützstruktur (nicht gezeigt) zusammengehalten werden, die im Kontext mit **Fig. 3B** beschrieben wird, und dann kann das Wandlerelement **104**, beispielsweise wie hier beschrieben, gebildet werden.

**[0135]** Wie in **Fig. 3D** gezeigt, kann sich der Gammastrahlendetektor **303** vom im Kontext mit **Fig. 1B** beschriebenen Gammastrahlendetektor **101** hauptsächlich in einer Form des Wandlerelements **104** unterscheiden.

**[0136]** Der Halbleiterdetektor **303** und die Verstärkerschaltung **120**, egal ob sie getrennt oder in einer integrierten Weise gebildet sind, können in verschiedenen Ausführungsformen im Wesentlichen vollständig im Wandlerelement **104** eingeschlossen sein oder davon im Wesentlichen vollständig umgeben sein. Als Beispiel kann das Wandlerelement **104** rund um den Halbleiterdetektor **103** und die Verstärkerschaltung **120** so gebildet sein, dass es nur wenigstens eine Öffnung **460** für Teile belässt, die in den und/oder aus dem Hohlraum **462** führen müssen, der vom Wandlerelement gebildet wird, beispielsweise Durchlässe **460** für wenigstens eine Energieleitung **110** und/oder wenigstens eine Ausgangsleitung **230**.

**[0137]** **Fig. 4** zeigt eine Tabelle, Tabelle 1, von Versuchsdaten, die mit einem Gammastrahlendetektor gemäß verschiedenen Ausführungsformen und einem Vergleichs-Gammastrahlendetektor erhalten werden.

**[0138]** In einer Versuchsumgebung wurde der Gammastrahlendetektor **300** getestet. Eine Gammastrahlenquelle, die eine Dosisrate von  $92 \mu\text{Sv/h}$  vorsieht, wurde in einer Distanz von 30 cm vom Gammastrahlendetektor **300** montiert.

**[0139]** Das Wandlerelement **104** war aus Wolfram-Schichten mit einer Dicke von 50  $\mu\text{m}$  gebildet, die jeweils den Halbleiterdetektor **103** im Wesentlichen umgeben. Eine Gesamtdicke des Wandlerelements **104** wurde durch das Hinzufügen oder Entfernen von Wolfram-Schichten variiert. Ein Vergleichs-Halbleiterdetektor wurde erhalten, indem das Wandlerelement **104** entfernt wurde. Die in **Fig. 4** gezeigte Tabelle 1 fasst das Ergebnis zusammen.

**[0140]** In der Tabelle kann sich ein Winkel auf einen Winkel zwischen einer der Hauptseiten des Halbleiterdetektors und einer Strahlungsrichtung der Gammastrahlenquelle beziehen (die zum Gammastrahlendetektor zeigen kann).

**[0141]** Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, kann eine optimale Dicke für das Wandlerelement **104** gefunden werden, wo eine Gesamtanzahl von Zählungen (die eine Summe der Zählungen für beide Winkel,  $0^\circ$  und  $90^\circ$ , sein kann) hoch und nahezu unabhängig vom Winkel ist, d.h. die Anzahl von Zählungen kann gleich oder nahezu gleich sein für einen Winkel von  $0^\circ$  und für einen Winkel von  $90^\circ$ . Für die Versuchsumgebung mit den Wolfram-Schichten kann die optimale Dicke des Wandlerelements **104** (der Wolfram-Schichten) nahe bei 100  $\mu\text{m}$  liegen, da für eine Dicke von 100  $\mu\text{m}$  die Gesamtanzahl von Zählungen 5180 beträgt, und die Zählungen für jeden der Winkel von einem Mittelwert der beiden Zählungen um weniger als 7 % abweichen. Für den Vergleichs-Gammastrahlendetektor ohne das Wandlerelement **104** (in der Tabelle sind „keine“ für die Anzahl von

Wolfram-Schichten angegeben) kann die Gesamtanzahl von Zählungen (5200) hoch sein, aber der Vergleichs-Gammastrahlendetektor kann eine starke Abhängigkeit von seiner relativen Orientierung in Bezug auf die Gammastrahlenquelle zeigen, da die Zählungen für die beiden Winkel von ihrem Mittelwert um etwa 28 % abweichen. Falls das Wandlerelement **104** relativ dick ist (200 µm, d.h. vier Wolfram-Schichten), wird die Gesamtanzahl von Zählungen geringfügig auf 4950 gesenkt. Ein Grund dafür kann sein, dass die Compton-Elektronen, die im Wandlerelement **104** gebildet werden können, aus dem Wandlerelement **104** nicht entweichen können. Ferner kann der Versuchs-Gammastrahlendetektor eine relativ starke Abhängigkeit von seiner relativen Orientierung in Bezug auf die Gammastrahlenquelle zeigen, da die Zählungen für die beiden Winkel von ihrem Mittelwert um etwa 22 % abweichen. Hier ist die Zählrate höher, falls der Gammastrahlendetektor der Gammastrahlenquelle mit einer seiner Hauptseiten zugewandt ist. Da die Zählrate für den 90° Winkel für die 100 µm Wolfram-Schicht höher ist als für den 0° Winkel, kann die optimale Dicke der Wolfram-Schicht **104** für den Versuchs-Gammastrahlendetektor geringfügig niedriger sein als 100 µm.

**[0142]** In verschiedenen Ausführungsformen können einige Gammastrahlendetektor-Parameter, beispielsweise die Dicke des Wandlerelements **104**, eine relative Anordnung des Wandlerelements **104** in Bezug auf den Halbleiterdetektor **103**, Länge, Breite und/oder Dicke des Halbleiterdetektors **103**, etc., experimentell oder mittels theoretischer Überlegungen optimiert werden. Dadurch kann die Zählrate und/oder die Orientierungsabhängigkeit des Gammastrahlendetektors optimiert werden. Beispielsweise kann die Orientierungsabhängigkeit nahezu oder im Wesentlichen eliminiert werden. In verschiedenen Ausführungsformen kann dies erzielt werden, indem das Wandlerelement **104** symmetrisch in Bezug auf den Halbleiterdetektor **103** eingerichtet wird, beispielsweise entlang zweier gegenüberliegenden Seiten, z.B. Hauptseiten, des Halbleiterdetektors **103**, oder beispielsweise den Halbleiterdetektor **103** im Wesentlichen vollständig umgebend (z.B. wie in Fig. 3D gezeigt).

**[0143]** Fig. 5 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Gammastrahlendetektors **400** gemäß verschiedenen Ausführungsformen.

**[0144]** Teile, Parameter, Materialien, Funktionen, etc., des Gammastrahlendetektors **400** können ähnlich oder identisch sein mit jenen, die in Verbindung mit den oben beschriebenen Gammastrahlendetektoren beschrieben werden.

**[0145]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor **400** den Halbleiterdetektor **103** umfassen, der, beispielsweise fixiert, auf

einem Wandlerelement **104** montiert sein kann. Das Wandlerelement **104** kann auch als Gehäuse oder als Teilgehäuse dienen. Der Halbleiterdetektor **103** kann auf dem Wandlerelement **104** montiert sein, wobei eine seiner Hauptseiten einer der Hauptseiten des Wandlerelements **104** zugewandt ist. In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103** direkt auf dem Wandlerelement **104** montiert sein, beispielsweise mittels einer Haltestruktur (nicht gezeigt), beispielsweise mittels Klemmen, Schrauben oder dgl. In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor **103** auf dem Wandlerelement **104** mittels eines Fixiermittels (nicht gezeigt) montiert sein, beispielsweise kann der Halbleiterdetektor **103** an das Wandlerelement **104** geklebt oder geschweißt sein.

**[0146]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Verstärkerschaltung **120** auf dem Wandlerelement **104** montiert sein. Als Beispiel kann die Verstärkerschaltung **120** auf einer der Hauptseiten des Wandlerelements **104** montiert sein, beispielsweise auf derselben Hauptseite des Wandlerelements **104** wie der Halbleiterdetektor **103**. Auf diese Weise können sowohl der Halbleiterdetektor **103** als auch die Verstärkerschaltung **120** wenigstens teilweise gegen unerwünschte elektromagnetische Strahlung abgeschirmt werden, während gleichzeitig das Wandlerelement **104** eine große Fraktion einer vollständigen Fläche des Halbleiterdetektors **103** bedecken kann, beispielsweise nahezu die Hälfte, beispielsweise zwischen 40 % und 50 %, der vollständigen Fläche des Halbleiters **103**. Ein größere Abdeckung kann beispielsweise erhalten werden, indem eine Öffnung, z.B. ein Hohlraum, im Wandlerelement **104** gebildet wird und der Halbleiterdetektor **103** in die Öffnung platziert wird. Da die große Fraktion der Fläche des Halbleiterdetektors **103** vom Wandlerelement **104** bedeckt ist, kann ein entsprechend großer Raumwinkel gebildet werden, unter dem die schnellen, z.B. relativistischen Elektronen in den Halbleiterdetektor **103** eintreten können.

**[0147]** In verschiedenen Ausführungsformen kann, trotz der wenigstens teilweisen Abschirmung, die Verstärkerschaltung **120**, beispielsweise in einem Fall eines hohen Strahlungspegels, beispielsweise eines hohen Gammastrahlungspegels, jedoch auch im Fall eines hohen Alpha-, Beta- oder anderen Teilchenstrahlungspegels oder elektromagnetischer Felder, einem Strahlungspegel ausgesetzt werden, der ihren Betrieb beeinflussen kann. Zur Senkung eines Risikos eines Ausfalls der Verstärkerschaltung **120** kann eine sogenannte strahlungsgehärtete Vorrichtung für die Verstärkerschaltung **120** verwendet werden.

**[0148]** In verschiedenen Ausführungsformen kann die Energieversorgung **122**, beispielsweise ein A/D-Wandler, der Energie mittels der Verbinder **572** emp-

fangen und geeignete Energie liefern kann, beispielsweise eine Gleichspannung von unter 5 V, für den Halbleiterdetektor **103** mittels der ersten Elektrode **114** und der zweiten Elektrode **110**, auf dem Wandlerelement **104** eingerichtet sein, beispielsweise auf derselben Seite des Wandlerelements **104** wie der Halbleiterdetektor **103**.

**[0149]** In verschiedenen Ausführungsformen können der Halbleiterdetektor **103**, die Verstärkerschaltung **120** und/oder die Energieversorgung **122** getrennt gebildet sein. Als Beispiel kann der Halbleiterdetektor **103** als Chip gebildet sein, die Verstärkerschaltung **120** kann als weiterer Chip gebildet sein, und die Energieversorgung **122** kann als dritter Chip gebildet sein.

**[0150]** Alternativ dazu können wenigstens zwei der drei Elemente monolithisch gebildet sein, beispielsweise können der Halbleiterdetektor **103**, die Verstärkerschaltung **120** und die Energieversorgung **122** monolithisch gebildet sein. Als Beispiel können der Halbleiterdetektor **103** und die Verstärkerschaltung **120** auf demselben Chip gebildet sein, der Halbleiterdetektor **103** und die Energieversorgung **122** können auf demselben Chip gebildet sein, die Verstärkerschaltung **120** und die Energieversorgung **122** können auf demselben Chip gebildet sein, oder beispielsweise können alle drei auf demselben Chip gebildet sein.

**[0151]** In verschiedenen Ausführungsformen können die Verbinder **572** für die Energieversorgung und/oder der Datenausgangsverbinder im Wandlerelement **104** eingerichtet sein. Alternativ dazu können sie beispielsweise auf dem Wandlerelement gebildet sein.

**[0152]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor **400** und/oder eine beliebige der anderen Ausführungsformen der oben beschriebenen Gammastrahlendetektoren in einem Gehäuse eingerichtet sein. Das Gehäuse kann als Schutzhülle dienen, beispielsweise um den Gammastrahlendetektor gegen Staub, Licht, Feuchtigkeit, (sichtbares) Licht, etc. zu schützen. Alternativ dazu oder zusätzlich kann das Gehäuse Elemente mit einer zusätzlichen Funktionalität vorsehen, z.B. eine Anzeige zum Anzeigen der Zählwerte, Dosisrate, etc., eine Eingabevorrichtung zum Auswählen verschiedener Optionen, etc. Mit anderen Worten können in verschiedenen Ausführungsformen die oben beschriebenen Gammastrahlendetektoren als Stand-alone-Gammastrahlendetektor beispielsweise zur professionellen Verwendung, z.B. in einem Krankenhaus, dienen.

**[0153]** In verschiedenen Ausführungsformen können beliebige Ausführungsformen von oben beschriebenen Gammastrahlendetektoren in einer mo-

bilen Kommunikationsvorrichtung eingerichtet sein, beispielsweise in einem Mobiltelefon, in einem Laptop, in einem Tablet, etc. Mit anderen Worten kann eine mobile Kommunikationsvorrichtung, z.B. ein Mobiltelefon, mit einer Fähigkeit zur Detektion von Gammastrahlung mittels eines Gammastrahlendetektors versehen werden, welcher Gammastrahlendetektor umfasst: ein Wandlerelement, das ausgelegt ist, ein schnelles, z.B. relativistisches Elektron freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement bewegt; einen Halbleiterdetektor, der eingerichtet ist, das schnelle, z.B. relativistische Elektron zu empfangen, und ausgelegt ist, ein Signal zu erzeugen, wenn sich das schnelle, z.B. relativistische Elektron wenigstens teilweise durch den Halbleiterdetektor bewegt; und eine Verstärkerschaltung, die mit dem Halbleiterdetektor gekoppelt ist und ausgelegt ist, das vom Halbleiterdetektor erzeugte Signal zu verstärken, wobei das Wandlerelement eingerichtet ist, die Verstärkerschaltung wenigstens teilweise gegen elektromagnetische Strahlung abzuschirmen.

**[0154]** **Fig. 6** zeigt ein Verfahren **500** zur Bildung eines Gammastrahlendetektors gemäß verschiedenen Ausführungsformen.

**[0155]** Das Verfahren **500** zur Bildung eines Gammastrahlendetektors kann umfassen: Bereitstellen eines Gammastrahlendetektors, umfassend ein Wandlerelement, das ausgelegt ist, ein Elektron, z.B. ein schnelles, z.B. relativistisches Elektron freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement bewegt; und einen Halbleiterdetektor, wobei der Halbleiterdetektor umfassen kann: wenigstens ein p-dotiertes Gebiet; wenigstens ein n-dotiertes Gebiet; wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt, wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweisen kann als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet; wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; und wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht (in 5010).

**[0156]** Das Verfahren zur Bildung eines Gammastrahlendetektors kann ferner umfassen: Bereitstellen einer Versorgungsspannung für die erste Elektrode und einer zweiten Versorgungsspannung für die zweite Elektrode, wobei die zweite Versorgungsspannung höher sein kann als die erste Versorgungsspannung, und wobei eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Elektrode unter 5 V liegen kann (in 5020).

**[0157]** Das Verfahren zur Bildung eines Gammastrahlendetektors kann ferner umfassen: Detektieren eines Signals, das im Halbleiterdetektor verursacht wird, wenn sich das (z.B. schnelle, z.B. relativistische) Elektron wenigstens teilweise durch das Halbleitersubstrat bewegt (in 5030).

**[0158]** In verschiedenen Ausführungsformen kann ein Gammastrahlendetektor vorgesehen werden. Der Gammastrahlendetektor kann ein Wandlerelement umfassen, das ausgelegt ist, ein Elektron, z.B. ein schnelles, z.B. relativistisches Elektron, freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement bewegt. Der Gammastrahlendetektor kann ferner umfassen: einen Halbleiterdetektor, der eingerichtet ist, das (z.B. schnelle, z.B. relativistische) Elektron zu empfangen, und ausgelegt ist, ein Signal zu erzeugen, wenn sich das (z.B. schnelle) Elektron wenigstens teilweise durch den Halbleiterdetektor bewegt; eine Verstärkerschaltung, die mit dem Halbleiterdetektor gekoppelt ist und ausgelegt ist, das vom Halbleiterdetektor erzeugte Signal zu verstärken; und eine Abschirmung, die den Halbleiterdetektor und die Verstärkerschaltung im Wesentlichen vollständig umgibt. Im Gammastrahlendetektor kann das Wandlerelement wenigstens einen Teil der Abschirmung bilden.

**[0159]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor umfassen:  
wenigstens ein p-dotiertes Gebiet; wenigstens ein n-dotiertes Gebiet; wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt, wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweise kann als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet; wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; und wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht.

**[0160]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement an wenigstens eine Fläche des Halbleiterdetektor angrenzen.

**[0161]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Zwischengebiet ein intrinsisches Gebiet sein.

**[0162]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Zwischengebiet ein n-dotiertes Gebiet sein.

**[0163]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Gammastrahlendetektor ferner eine Energieversorgung umfassen, die ausgelegt ist, eine erste Versorgungsspannung der ersten Elektrode und eine zweite Versorgungsspannung der zweiten Elektrode zuzuführen, wobei die zweite Versorgungsspannung höher sein kann als die erste Versorgungsspannung.

**[0164]** In verschiedenen Ausführungsformen kann eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und zweiten Elektrode unter 5 V liegen.

**[0165]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement ein Schwermetall oder ein Oxid eines Schwermetalls umfassen.

**[0166]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement wenigstens ein Material von einer Gruppe von Materialien umfassen, welche Gruppe besteht aus:  
Blei; Wolfram; Molybdän; Gold; einer Blei-Gold-Legierung; einer Wolfram-Nickel-Legierung und einem Oxid der oben angegebenen Materialien.

**[0167]** In verschiedenen Ausführungsformen kann sich das Wandlerelement entlang wenigstens zwei Seiten des Halbleiterdetektors und der Verstärkerschaltung erstrecken.

**[0168]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement die vollständige Abschirmung bilden.

**[0169]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor eine Mehrzahl von Detektorsegmenten umfassen.

**[0170]** In verschiedenen Ausführungsformen kann wenigstens ein Teil des Wandlerelements zwischen den Detektorsegmenten angeordnet sein.

**[0171]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor wenigstens ein Material von einer Gruppe von Materialien umfassen, welche Gruppe besteht aus:  
Silicium; Germanium; einem III-V-Verbindungshalbleiter; einem II-VI-Verbindungshalbleiter; und einem IV-IV-Verbindungshalbleiter.

**[0172]** In verschiedenen Ausführungsformen kann der Halbleiterdetektor als Chip ausgelegt sein.

**[0173]** In verschiedenen Ausführungsformen kann ein Gammastrahlendetektor vorgesehen werden. Der Gammastrahlendetektor kann umfassen: ein Wandlerelement, das ausgelegt ist, Compton-Elektronen aus einfallender Gammastrahlung zu generieren; einen Halbleiterdetektor, der ausgelegt ist, die Compton-Elektronen zu detektieren und ein entsprechendes Detektorsignal zu erzeugen; eine Verstärkerschaltung, die ausgelegt ist, das Detektorsignal zu verstärken; und eine Abschirmung, die den Halbleiterdetektor und die Verstärkerschaltung im Wesentlichen vollständig umgibt, wobei das Wandlerelement wenigstens einen Teil der Abschirmung bildet.

**[0174]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement ein Schwermetall oder ein Oxid eines Schwermetalls umfassen.

**[0175]** In verschiedenen Ausführungsformen kann das Wandlerelement die vollständige Abschirmung bilden.

**[0176]** In verschiedenen Ausführungsformen kann ein Verfahren zur Detektion von Gammastrahlen vorgesehen werden, welches umfasst: Bereitstellen eines Gammastrahlendetektors, umfassend: ein Wandlerelement, das ausgelegt ist, ein Elektron freizusetzen, z.B. ein schnelles, z.B. relativistisches Elektron, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement bewegt; und einen Halbleiterdetektor, wobei der Halbleiterdetektor umfassen kann: wenigstens ein p-dotiertes Gebiet; wenigstens ein n-dotiertes Gebiet; wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt, wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweisen kann als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet; wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; und wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht;

Bereitstellen einer Versorgungsspannung für die erste Elektrode und einer zweiten Versorgungsspannung für die zweite Elektrode, wobei die zweite Versorgungsspannung höher sein kann als die erste Versorgungsspannung, und wobei eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Elektrode unter 5 V liegen kann; und Detektieren eines Signals, das im Halbleiterdetektor verursacht wird, wenn sich das (z.B. schnelle, z.B. relativistische) Elektron wenigstens teilweise durch das Halbleitersubstrat bewegt.

**[0177]** Obwohl die Erfindung insbesondere in Bezug auf spezifische Ausführungsformen gezeigt und beschrieben wurde, ist es für Fachleute klar, dass verschiedene Änderung in Form und Detail daran vorgenommen werden können, ohne vom Grundgedanken und Umfang der Erfindung abzuweichen, wie durch die beigeschlossenen Ansprüche definiert. Der Umfang der Erfindung wird durch die beigeschlossenen Ansprüche angezeigt, und alle Änderungen, die in die Bedeutung und den Äquivalenzbereich der Ansprüche fallen, sollen daher umfasst sein.

**[0178]** Verschiedene Aspekte der Offenbarung sind für Vorrichtungen vorgesehen, und verschiedene Aspekte der Offenbarung sind für Verfahren vorgesehen. Es ist klar, dass Grundeigenschaften der Vorrichtungen auch für die Verfahren gelten, und umgekehrt. Daher kann der Kürze halber eine doppelte Be-

schreibung solcher Eigenschaften weggelassen werden sein.

### Patentansprüche

1. Gammastrahlendetektor (**100**), aufweisend:  
ein Wandlerelement (**104**), das ausgelegt ist, ein Elektron freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement (**104**) bewegt;  
einen Halbleiterdetektor (**103**), der eingerichtet ist, das Elektron zu empfangen, und ausgelegt ist, ein Signal zu erzeugen, wenn sich das Elektron wenigstens teilweise durch den Halbleiterdetektor (**103**) bewegt; eine Verstärkerschaltung (**105**), die mit dem Halbleiterdetektor (**103**) gekoppelt ist und ausgelegt ist, das vom Halbleiterdetektor (**103**) erzeugte Signal zu verstärken;  
und  
eine Abschirmung, die den Halbleiterdetektor (**103**) und die Verstärkerschaltung (**105**) im Wesentlichen vollständig umgibt,  
wobei das Wandlerelement (**104**) wenigstens einen Teil der Abschirmung bildet.

2. Gammastrahlendetektor (**100**) nach Anspruch 1,  
wobei der Halbleiterdetektor (**103**) umfasst:  
wenigstens ein p-dotiertes Gebiet;  
wenigstens ein n-dotiertes Gebiet;  
wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt, wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweist als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet; wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; und  
wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht.

3. Gammastrahlendetektor (**100**) nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Wandlerelement (**104**) an wenigstens eine Fläche des Halbleiterdetektors (**103**) angrenzt.

4. Gammastrahlendetektor (**100**) nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Zwischengebiet ein intrinsisches Gebiet ist.

5. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei das Zwischengebiet ein n-dotiertes Gebiet ist.

6. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, ferner umfassend:  
eine Energieversorgung, die ausgelegt ist, eine erste Versorgungsspannung der ersten Elektrode und eine

zweite Versorgungsspannung der zweiten Elektrode zuzuführen, wobei die zweite Versorgungsspannung höher ist als die erste Versorgungsspannung; wobei optional eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und zweiten Elektrode unter 5 V liegt.

7. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Wandlerelement (**104**) ein Schwermetall oder ein Oxid eines Schwermetalls umfasst.

8. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

wobei das Wandlerelement (**104**) wenigstens ein Material von einer Gruppe von Materialien umfasst, wobei die Gruppe besteht aus:

Blei;

Wolfram;

Molybdän;

Gold;

einer Blei-Gold-Legierung;

einer Wolfram-Nickel-Legierung und

einem Oxid der oben angegebenen Materialien.

9. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei sich das Wandlerelement (**104**) entlang wenigstens zwei Seiten des Halbleiterdetektors (**103**) und der Verstärkerschaltung (**105**) erstreckt.

10. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Wandlerelement (**104**) die vollständige Abschirmung bildet.

11. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Halbleiterdetektor (**103**) eine Mehrzahl von Detektorsegmenten umfasst; wobei optional wenigstens ein Teil des Wandlerelements (**104**) zwischen den Detektorsegmenten angeordnet ist.

12. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Halbleiterdetektor (**103**) wenigstens ein Material von einer Gruppe von Materialien umfasst, wobei die Gruppe besteht aus:

Silicium;

Germanium;

einem III-V-Verbindungshalbleiter;

einem II-VI-Verbindungshalbleiter; und

einem IV-IV-Verbindungshalbleiter.

13. Gammastrahlendetektor (**100**) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei der Halbleiterdetektor (**103**) als Chip ausgelegt ist.

14. Gammastrahlendetektor (**100**), umfassend:

ein Wandlerelement (**104**), das ausgelegt ist, Compton-Elektronen aus einfallender Gammastrahlung zu generieren;

einen Halbleiterdetektor (**103**), der ausgelegt ist, die Compton-Elektronen zu detektieren und ein entsprechendes Detektorsignal zu erzeugen;

eine Verstärkerschaltung (**105**), die ausgelegt ist, das Detektorsignal zu verstärken; und

eine Abschirmung, die den Halbleiterdetektor (**103**) und die Verstärkerschaltung (**105**) im Wesentlichen vollständig umgibt,

wobei das Wandlerelement (**104**) wenigstens einen Teil der Abschirmung bildet.

15. Gammastrahlendetektor (**100**) nach Anspruch 14, wobei das Wandlerelement (**104**) ein Schwermetall oder ein Oxid eines Schwermetalls umfasst.

16. Gammastrahlendetektor (**100**) nach Anspruch 14 oder 15, wobei das Wandlerelement (**104**) die vollständige Abschirmung bildet.

17. Verfahren zur Detektion von Gammastrahlen, wobei das Verfahren umfasst:

Bereitstellen eines Gammastrahlendetektors (**100**), umfassend:

ein Wandlerelement (**104**), das ausgelegt ist, ein Elektron freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement (**104**) bewegt; und

einen Halbleiterdetektor (**103**), wobei der Halbleiterdetektor (**103**) umfasst:

wenigstens ein p-dotiertes Gebiet;

wenigstens ein n-dotiertes Gebiet;

wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt,

wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweist als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet;

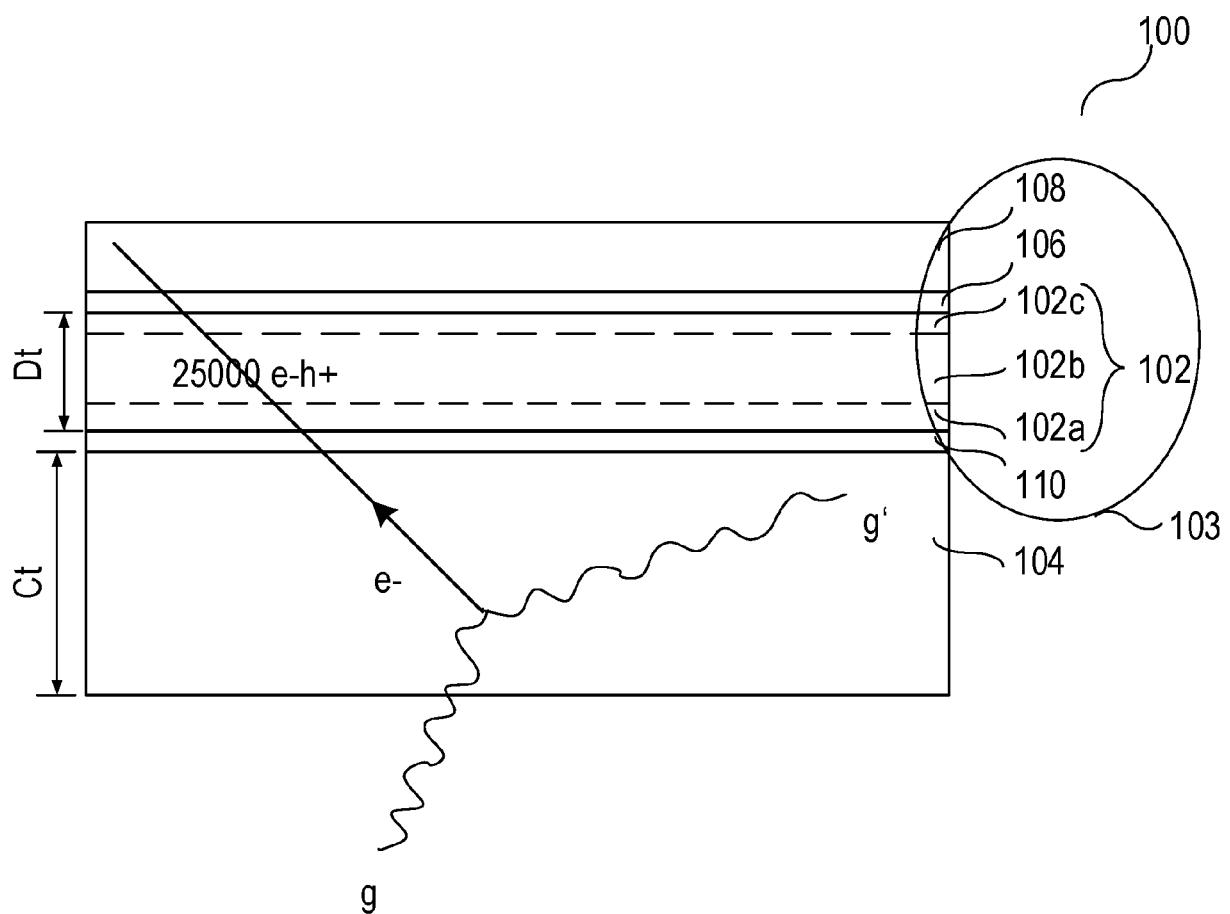
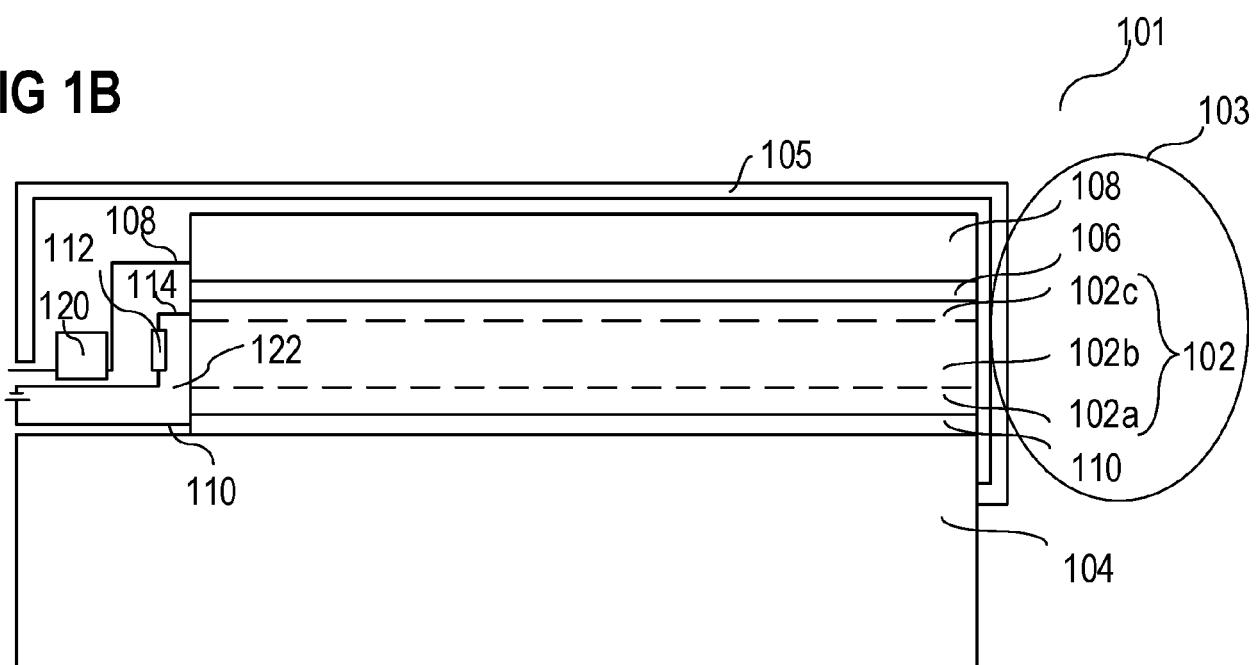
wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; und

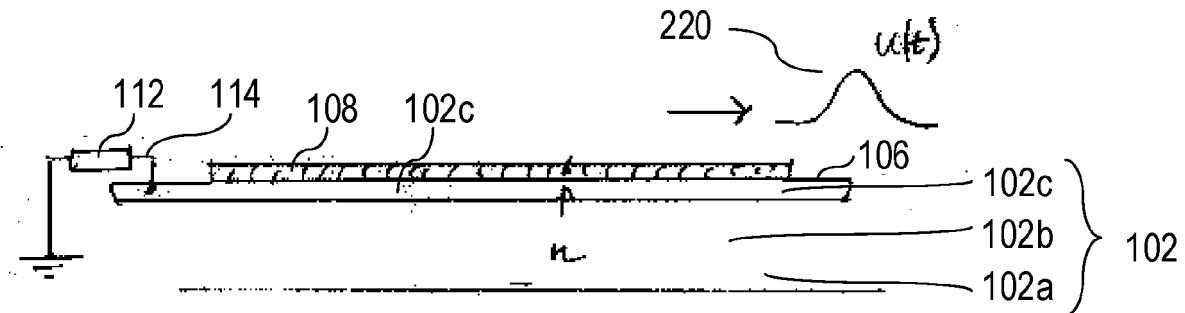
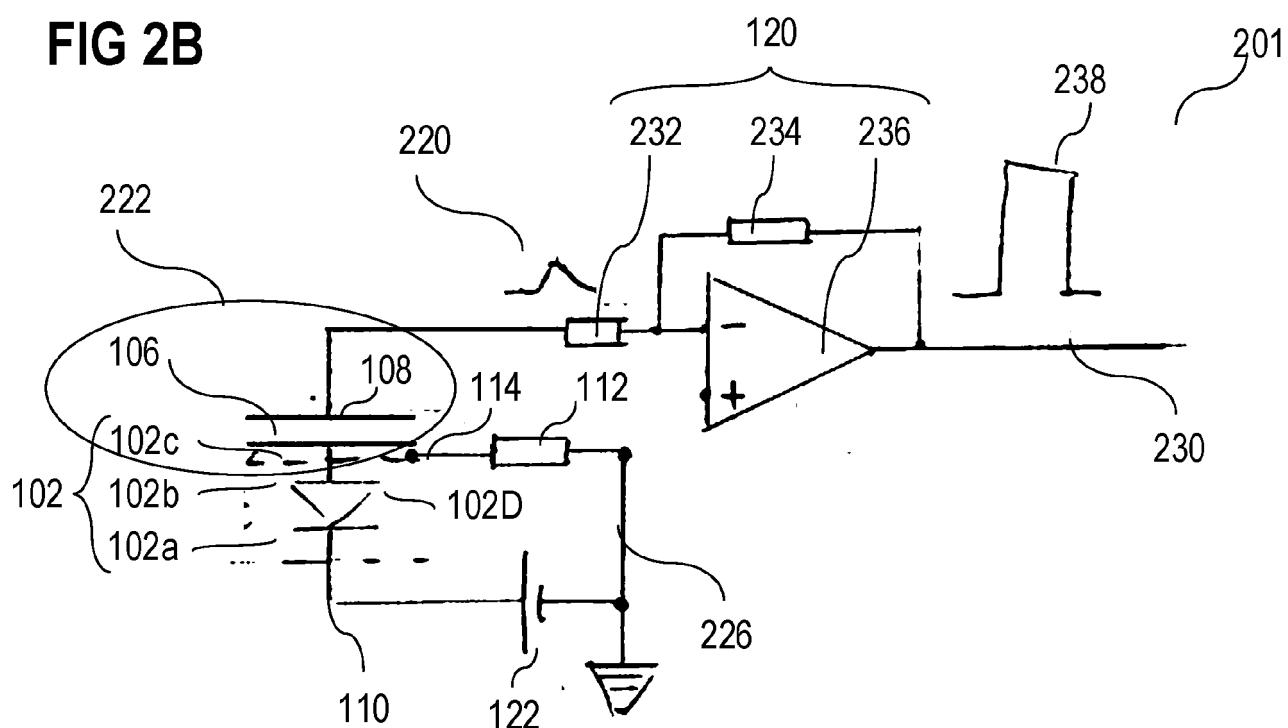
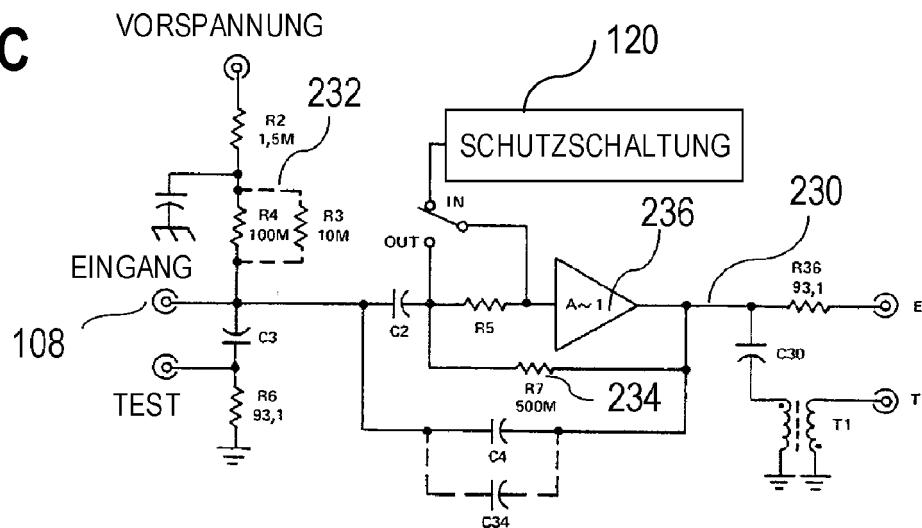
wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht;

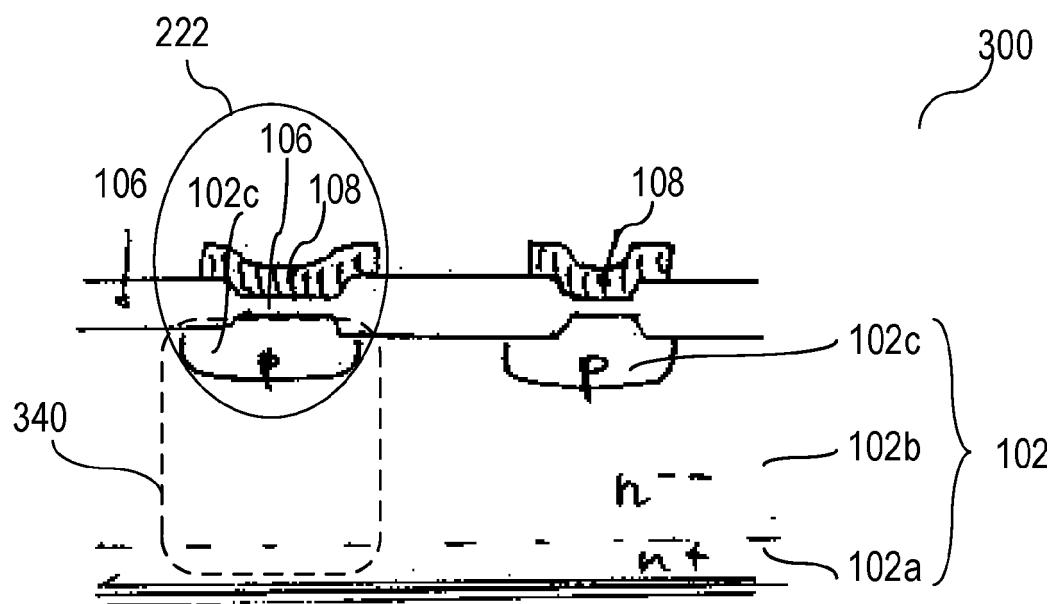
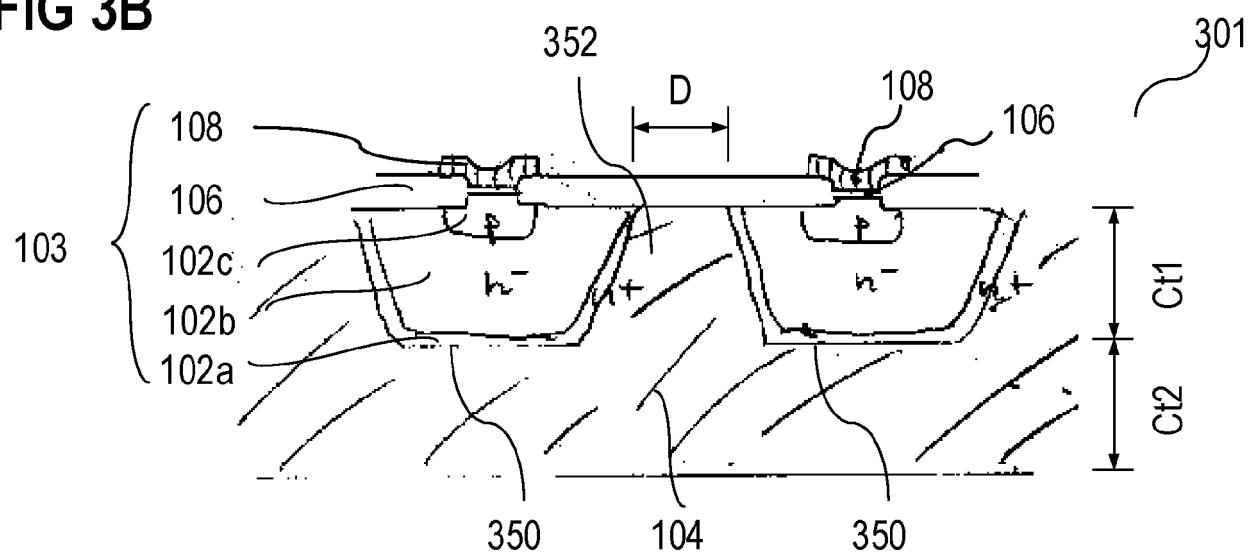
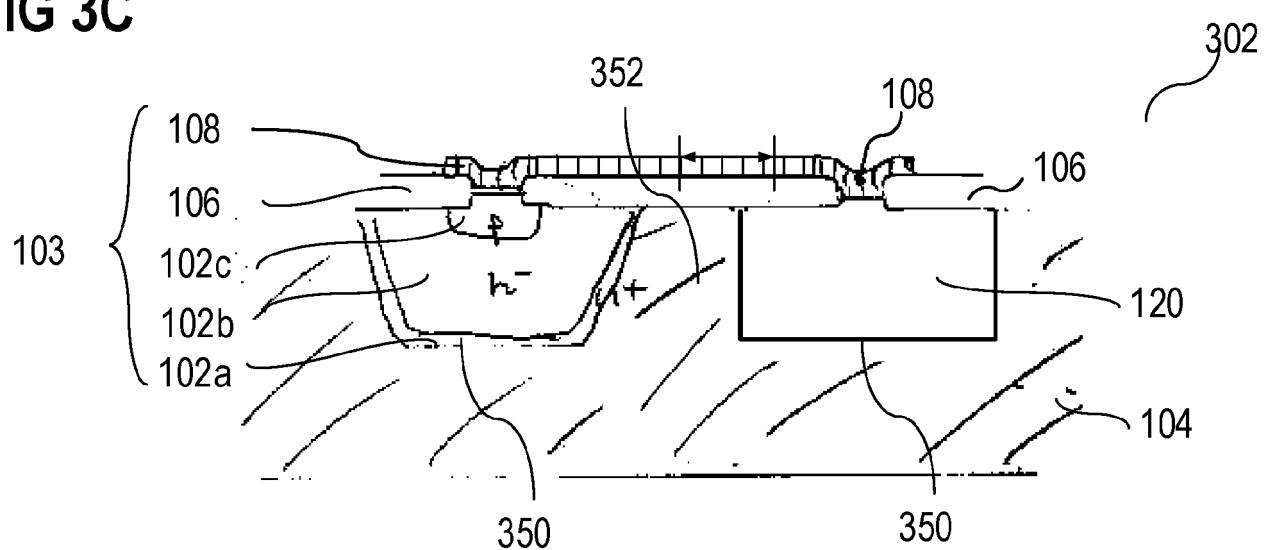
Bereitstellen einer Versorgungsspannung für die erste Elektrode und einer zweiten Versorgungsspannung für die zweite Elektrode, wobei die zweite Versorgungsspannung höher ist als die erste Versorgungsspannung, und wobei eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Elektrode unter 5 V liegt;

Detektieren eines Signals, das im Halbleiterdetektor (**103**) verursacht wird, wenn sich das Elektron wenigstens teilweise durch das Halbleitersubstrat bewegt.

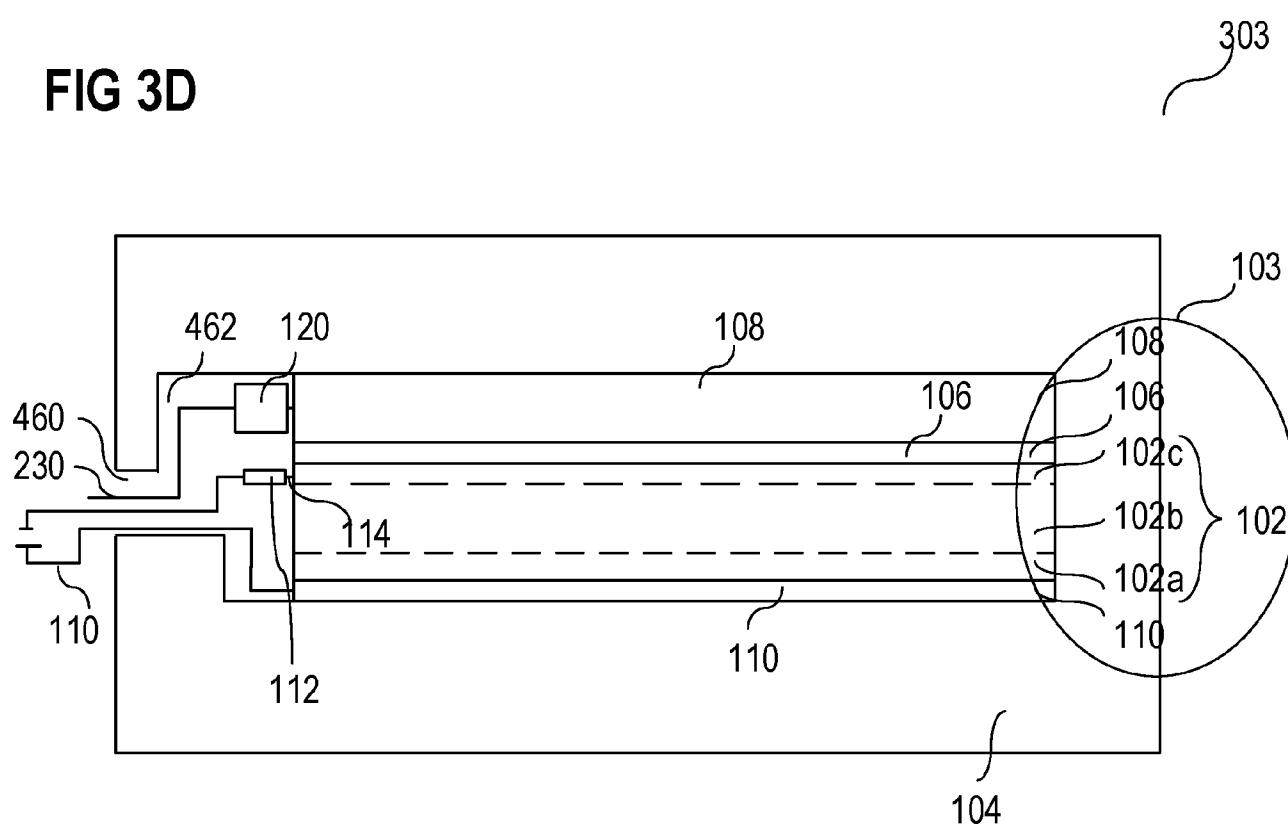
Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

**FIG 1A****FIG 1B**

**FIG 2A****FIG 2B****FIG 2C**

**FIG 3A****FIG 3B****FIG 3C**

**FIG 3D**



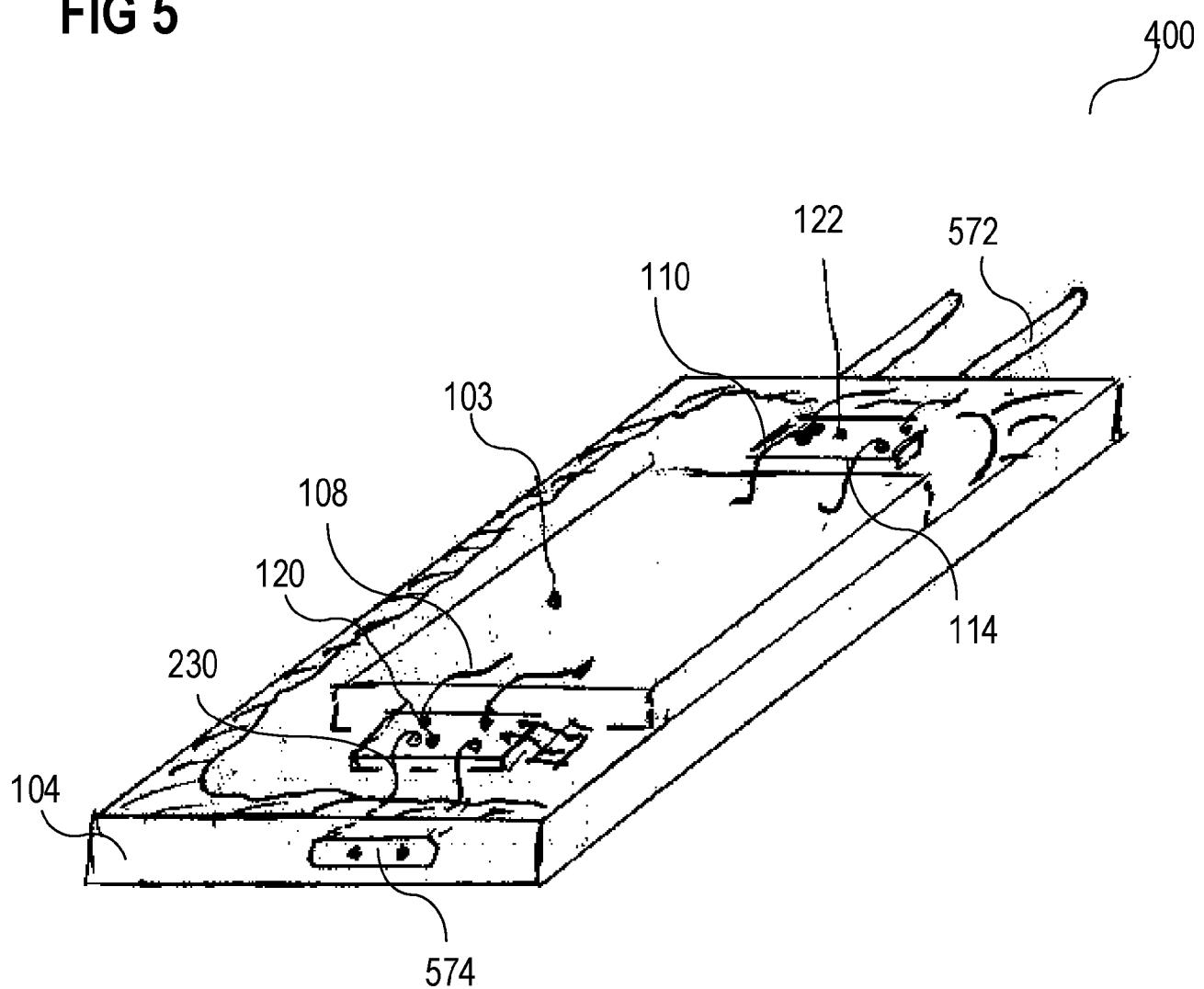
## FIG 4

Winkel [°] W-Schichten Zählungen  
50 µm dick

0	keine	3320
90	keine	1880
0	2 x 50 µm	2420
90	2 x 50 µm	2760
0	4 x 50 µm	1930
90	4 x 50 µm	3020

Tabelle 1

**FIG 5**



**FIG 6**

500

5010

Vorsehen eines Gammastrahlendetektors, umfassend ein Wandlerelement, das ausgelegt ist, ein schnelles Elektron freizusetzen, wenn sich ein Gammastrahl wenigstens teilweise durch das Wandlerelement bewegt; und einen Halbleiterdetektor, wobei der Halbleiterdetektor umfasst: wenigstens ein p-dotiertes Gebiet; wenigstens ein n-dotiertes Gebiet und wenigstens ein Zwischengebiet, welches das wenigstens eine p-dotierte Gebiet vom wenigstens einen n-dotierten Gebiet trennt, wobei das wenigstens eine Zwischengebiet eine niedrigere Dotierungsmittelkonzentration aufweist als das wenigstens eine p-dotierte Gebiet und das wenigstens eine n-dotierte Gebiet; wenigstens eine erste Elektrode, die mit dem wenigstens einen p-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht; wenigstens eine zweite Elektrode, die mit dem wenigstens einen n-dotierten Gebiet in elektrischem Kontakt steht



5020

Vorsehen einer Versorgungsspannung für die erste Elektrode und einer zweiten Versorgungsspannung für die zweite Elektrode, wobei die zweite Versorgungsspannung höher ist als die erste Versorgungsspannung, und wobei eine Spannungsdifferenz zwischen der ersten und zweiten Elektrode unter 5 V liegt



5030

Detektieren eines Signals, das im Halbleiterdetektor verursacht wird, wenn sich das schnelle Elektron wenigstens teilweise durch das Halbleitersubstrat bewegt