

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. November 2020 (19.11.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2020/229639 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

*H01L 29/08* (2006.01)      *H01L 29/36* (2006.01)  
*H01J 37/317* (2006.01)    *H01L 29/78* (2006.01)  
*H01L 21/04* (2006.01)    *H01L 29/06* (2006.01)  
*H01L 21/266* (2006.01)   *H01L 21/336* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/063556

(22) Internationales Anmeldedatum:  
14. Mai 2020 (14.05.2020)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2019 112 985.0  
16. Mai 2019 (16.05.2019) DE

(71) Anmelder: **MI2-FACTORY GMBH** [DE/DE]; Moritz-von-Rohr-Str. 1a, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder: **CSATO, Constantin**; Grundlitz 12, 95236 Stammbach (DE). **KRIPPENDORF, Florian**; Neugasse 6, 07743 Jena (DE).

(74) Anwalt: **WÄCHTER, Jochen**; Kroher Strobel Rechts- und Patentanwälte PartmbB, Bavariaring 20, 80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING SEMICONDUCTOR COMPONENTS, AND SEMICONDUCTOR COMPONENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON HALBLEITERBAUELEMENTEN UND HALBLEITERBAUELEMENT

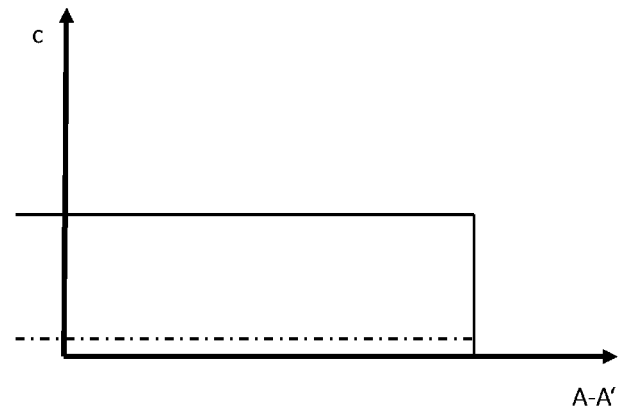
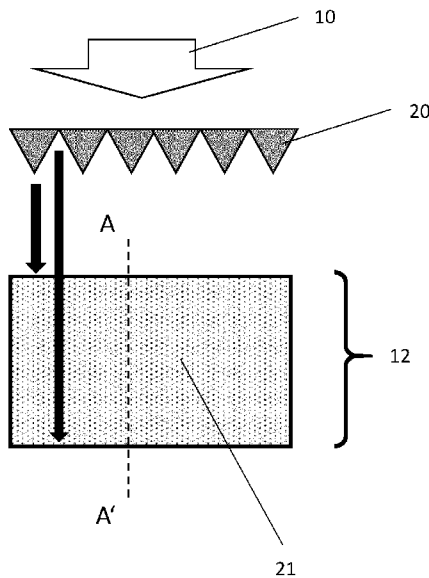


Fig. 6

(57) Abstract: The method for producing semiconductor components (4) having a vertical structure comprises firstly the provision of a substrate (12) consisting of semiconductor material with a thickness of between 4  $\mu\text{m}$  and 300  $\mu\text{m}$ . A doped drift zone (21) of the semiconductor component (4) is subsequently produced by ion implantation into the substrate (12), using an energy filter (20), the energy filter (20) being a micro-structured membrane with a pre-defined structural profile for setting, in the substrate (12), a dopant depth profile and/or defect-depth profile brought about by the implantation process. As the drift zone (21) is produced, the entire drift zone (21) is doped, and the drift zone (21) is produced entirely without epitaxy.

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen (4) mit vertikaler Struktur umfasst zunächst das



WO 2020/229639 A1

NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,  
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

---

Bereitstellen eines Substrats (12) aus Halbleitermaterial mit einer Dicke von 4 µm bis 300 µm. Anschließend wird eine dotierte Driftzone (21) des Halbleiterbauelements (4) mittels Ionenimplantation in das Substrat (12) unter Verwendung eines Energiefilters (20) erzeugt, wobei der Energiefilter (20) eine mikrostrukturierte Membran mit einem vordefinierten Strukturprofil zur Einstellung eines durch die Implantation hervorgerufenen Dotierstofftiefenprofils und/oder Defekttiefenprofils im Substrat (12) ist. Beim Erzeugen der Driftzone (21) wird die gesamte Driftzone (21) dotiert, und das Erzeugen der Driftzone (21) erfolgt vollständig ohne epitaktische Abscheidung.

## Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und Halbleiterbauelement

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und ein  
5 Halbleiterbauelement.

Diskrete hochsperrende Leistungshalbleiterbauelemente mit mehr als 600V nomineller  
Sperrspannung werden sowohl in Silizium als auch in SiC im Allgemeinen vertikal aufge-  
baut. Für Dioden, z.B. MPS (merged-pin-Schottky)-Dioden, Schottkydioden oder p-n Dio-  
10 den heißt dies, dass die Kathode auf der Substratvorderseite und die Anode auf der Sub-  
stratrückseite angeordnet ist. Eine ähnliche Anordnung gilt im Falle von vertikalen Leis-  
tungs-MOS (metal-oxide-semiconductor) Bauelementen. Gate- und Source-Elektrode be-  
finden sich auf der Substratvorderseite, die Drainelektrode auf der Substratrückseite. Das  
eigentliche Transistorelement bzw. der Kanalbereich kann bei konventionellen Leistungs-  
15 MOSFETs parallel zur Oberfläche (D-MOS) oder senkrecht zur Oberfläche angeordnet sein  
(Trench-MOS). Spezielle Konstruktionen haben sich für SiC-MOSFETs etabliert, z.B.  
Trenchtransistoren.

Abhängig von der geforderten Sperrfähigkeit (Reverse Blocking Voltage) wird die Breite der  
20 Driftzone (=aktive Zone, spannungsaufnehmende Schicht) eingestellt. Beispielsweise wird  
die Breite der Driftzone für ein 600 V MOSFET Bauelement in Silizium ca. 50  $\mu\text{m}$  groß sein.

Bei sogenannten Superjunction Bauelementen kann die Breite der spannungsaufnehmen-  
den Schicht gegenüber „einfachen“ vertikalen MOSFETs etwas reduziert sein. Die Beson-  
25 derheit dieser Art von vertikalen Bauelementen liegt darin, dass die Driftzone durch alternie-  
rend angeordnete vertikale p- und n- dotierte Säulen charakterisiert ist. Die zusätzlich ein-  
gebrachte p-Dotierung kompensiert im Sperrfall die erhöhte Ladung im n-dotierten Bereich,  
welcher im eingeschalteten Zustand den Widerstand zwischen Source-Elektrode und Drain-  
Elektrode bestimmt. Somit kann bei gleicher Sperrfähigkeit der Einschaltwiderstand bis zu  
30 einem Faktor 10 gegenüber konventionellen vertikalen MOS-Transistoren reduziert werden.  
Das eigentliche Transistorelement, bzw. der Kanalbereich, kann bei Superjunction-  
MOSFET Architekturen parallel zur Oberfläche (D-MOS) oder senkrecht zur Oberfläche  
angeordnet sein (Trench-MOS).

Die speziellen Materialeigenschaften von SiC erfordern für vertikale Leistungshalbleiterbauelemente die Bereitstellung von spezifischen Herstellverfahren und die Anwendung spezifischer Architekturen des Kanal- und Transistorbereichs.

5 Gemäß dem Stand der Technik werden die aktiven Zonen vieler vertikaler Leistungsdioden bzw. alle Leistungstransistoren (MOSFET) in epitaktischen, d.h. einkristallinen, Schichten, ausgebildet. Diese epitaktischen Schichten werden auf kristallinen Trägerwafern aufgebracht. Damit kann die Dotierung in der aktiven Zone auf die jeweilige Sperrspannung abgestimmt werden und der hochdotierte Trägerwafer kann hinsichtlich seiner Dotierung so  
10 optimiert werden, dass sein Beitrag zum Einschaltwiderstand minimiert wird.

Insbesondere bei SiC-Substraten ist die oben beschriebene Herstellung der Schichtstruktur aufwändig und teuer, da zum Einen die Trägerwafer, die im Bauelement jedoch keine aktive Funktion übernehmen, sehr teuer sind und zum Anderen die epitaktische Schichtabscheidung enorm kostenintensiv ist.  
15

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen anzugeben, mit dem leistungsstarke Halbleiterbauelemente hoher Qualität industriell mit reduziertem Aufwand und geringeren Kosten hergestellt werden können.  
20

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen mit vertikaler Struktur weist folgende Schritte auf:

- Bereitstellen eines Substrats aus Halbleitermaterial mit einer Dicke von 4 µm bis 300 µm, und  
25
- Erzeugen einer dotierten Driftzone des Halbleiterbauelements mittels Ionenimplantation in das Substrat unter Verwendung eines Energiefilters, wobei der Energiefilter eine mikrostrukturierte Membran mit einem vordefinierten Strukturprofil zur Einstellung eines durch die Implantation hervorgerufenen Dotierstofftiefenprofils und/oder Defekttiefenprofils im Substrat ist, wobei beim Erzeugen der Driftzone die gesamte  
30 Driftzone dotiert wird. Das Erzeugen der Driftzone erfolgt vollständig ohne epitaktische Abscheidung.

Wenn bei der Herstellung eines Halbleiterbauelements die Driftzone nach obigen Schritten erzeugt wird, fallen deutlich geringere Kosten des Herstellprozesses an.

Besonders bevorzugt ist das oben genannte Verfahren, wenn das Halbleitermaterial des Substrats SiC ist. In diesem Fall weist das Substrat eine Dicke von 4  $\mu\text{m}$  bis 30  $\mu\text{m}$  auf. Hier sind die Einsparungen gegenüber herkömmlichen Herstellverfahren besonders hoch.

5 Es ist bevorzugt, dass das Halbleitermaterial des Substrats vor dem Erzeugen der Driftzone undotiert oder schwach n-dotiert ist.

10 Die Dicke des Substrats beträgt vorzugsweise zwischen 4 und 25  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 4 und 20  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 4 und 15  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 6 und 14  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 7 und 13  $\mu\text{m}$ . In diesen Bereichen der Dicke des Substrats ist es möglich, durch Ionenimplantation mit heute industriell verfügbaren Beschleunigern eine vollständige Dotierung der Driftzone in SiC zu erzielen.

15 Bevorzugt erstreckt sich die Driftzone über 40 bis 100%, bevorzugt 50 bis 98%, mehr bevorzugt 60 bis 95% der Höhe des Substrats. In der Regel liegt der Anteil eher in einem höheren Bereich des angegebenen Spektrums.

In einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Driftzone nach der Ionenimplantation n-dotiert.

20 Es ist bevorzugt, dass das Erzeugen der dotierten Driftzone durch Ionenimplantation von einer Seite des Substrats erfolgt. Alternativ kann, insbesondere bei Dicken von SiC-Substraten von mehr als 10  $\mu\text{m}$ , das Erzeugen der dotierten Driftzone durch Ionenimplantation von zwei Seiten des Substrats erfolgen. Dabei ergänzen sich die beiden Implantationen von den zwei Seiten hin zum endgültigen Dotierprofil.

30 Es ist besonders bevorzugt, wenn das Erzeugen der dotierten Driftzone mit Ionen aus Stickstoff, Phosphor oder Wasserstoff (letzteres nur für Siliziumkristalle) als Dotierstoff erfolgt. Zusätzlich zur Dotierung der Driftzone mittels Ionenimplantation ist es bevorzugt, wenn eine dotierte Feldstoppschicht an einem Rand des Substrats mittels Ionenimplantation unter Verwendung eines Energiefilters erzeugt wird. Dies vereinfacht den Herstellungsprozess weiter und reduziert die Gesamtkosten.

Es ist in der Regel gewünscht, dass die Feldstoppschicht nach der Ionenimplantation n-dotiert ist, wobei die Dotierung der Feldstoppschicht stärker ist als die Dotierung der Driftzone, vorzugsweise mindestens doppelt so stark wie die Dotierung der Driftzone.

- 5 Die Dicke der Feldstoppschicht beträgt vorzugsweise zwischen 0,6  $\mu\text{m}$  und 150  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 0,8  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$ .

In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Ionenimplantation zum Erzeugen der Feldstoppschicht von der Seite des Substrats, auf der die Feldstoppschicht ausgebildet  
10 wird. Dadurch wird der Herstellprozess vereinfacht und es können Ionenstrahlen mit geringerer Energie verwendet werden.

Es ist außerdem bevorzugt, dass zusätzlich zur Dotierung der Driftzone mittels Ionenimplantation auch eine oberflächliche funktionale Zone mit Bereichen unterschiedlicher Dotie-  
15 rung unter Verwendung von Ionenimplantation mit einem Energiefilter erzeugt wird. Dadurch wird die Herstellung des Halbleiterbauelements weiter vereinfacht.

Bevorzugt liegt die oberflächliche funktionale Zone an einem Rand des Substrats, der der Feldstoppschicht gegenüberliegt. Auf diese Weise werden Halbleiterbauelemente mit verti-  
20 kaler Struktur gebildet. Die Implantation der oberflächlichen funktionalen Zone erfolgt vorzugsweise von der Seite des Substrats, auf der die oberflächliche funktionale Zone ausgebildet wird. Hierdurch wird das Verfahren weiter vereinfacht und es kann mit einem Ionenstrahl geringerer Energie gearbeitet werden.

- 25 Die Dicke der oberflächlichen funktionalen Zone beträgt vorzugsweise zwischen 0,5  $\mu\text{m}$  und 6  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 0,8  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$ .

Zur Bildung von Superjunction-Bauelementen ist es bevorzugt, wenn zusätzlich p-dotierte Säulen im Bereich der Driftzone mittels Ionenimplantation unter Verwendung eines Energie-  
30 filters erzeugt werden. Die p-dotierten Säulen dienen zur Ladungskompensation der n-dotierten Bereiche der Driftzone.

Für die Ausbildung der oberflächlichen funktionalen Zone und/oder der p-dotierten Säulen wird das Substrat vorzugsweise bereichsweise maskiert.

Das Bereitstellen des Substrats erfolgt vorzugsweise durch Aufspalten eines stabförmigen Ausgangskristalls aus dem Halbleitermaterial in dünne Scheiben. Diese dünnen Scheiben bilden dann jeweils das dünne Substrat, das durch Ionenimplantation weiter behandelt wird.

5

Ebenfalls erfindungsgemäß ist ein Halbleiterbauelement mit einem Substrat aus Halbleitermaterial, das eine Dicke von 4  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 4  $\mu\text{m}$  bis 30  $\mu\text{m}$ , aufweist, wobei das Halbleiterbauelement ein Dotierprofil des Substrats in einem Mittelbereich des Substrats eine Senke oder eine Erhebung aufweist.

10

Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung der Aufspaltung eines Ausgangskristalls in dünne Substratscheiben, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann;

15

Fig. 2 zeigt ein Dotierprofil eines Substrats vor der Ionenimplantation der Driftzone;

Fig. 3 ist eine schematische Ansicht des Wirkprinzips der Ionenimplantation in ein Substrat unter Verwendung eines Energiefilters;

20

Fig. 4 ist eine schematische Darstellung der Wirkweise eines Energiefilters, der beim erfindungsgemäßen Verfahren Verwendung finden kann;

25

Fig. 5 ist eine schematische Darstellung verschiedener Dotierprofile, die mittels verschieden strukturierter Energiefilter erzeugt werden können;

Fig. 6 zeigt schematisch den Ablauf der Dotierung der Driftzone sowie ein daraus resultierendes Dotierprofil des Substrats;

30

Fig. 7 zeigt schematisch den Ablauf der Dotierung der Driftzone sowie ein daraus resultierendes alternatives Dotierprofil des Substrats;

- Fig. 8a zeigt schematisch einen alternativen Ablauf der Dotierung der Driftzone sowie ein daraus resultierendes alternatives Dotierprofil des Substrats, wobei die Implantation von zwei Seiten des Substrats erfolgt;
- 5 Fig. 8b zeigt ein Summendotierprofil des Substrats bei einer Implantation von zwei Seiten ähnlich wie in Fig. 8a;
- Fig. 9 zeigt schematisch einen alternativen Ablauf der Dotierung der Driftzone sowie ein daraus resultierendes alternatives Dotierprofil des Substrats, wobei die Im-  
10 plantation von zwei Seiten des Substrats erfolgt;
- Fig. 10 zeigt schematisch den Ablauf der Dotierung der Driftzone unter Verwendung einer bereichsweisen Maskierung des Substrats sowie ein daraus resultieren-  
15 des alternatives Dotierprofil des Substrats;
- Fig. 11 zeigt schematisch den Ablauf einer Ionenimplantation von zwei Seiten des Substrats unter Verwendung von maskierten Bereichen;
- Fig. 12 zeigt schematisch den Ablauf der Ionenimplantation zur Bildung einer Feld-  
20 stoppschicht und ein daraus resultierendes Dotierprofil des Substrats;
- Fig. 13 zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein erstes Beispiel eines Halbleiterbauelements, das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurde, einschließlich des zugehörigen Dotierprofils;  
25
- Fig. 14 zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein zweites Beispiel eines Halbleiterbauelements, das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurde; und
- 30 Fig. 15 zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein drittes Beispiel eines Halbleiterbauelements, das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurde, sowie zwei zugehörige Dotierprofile in zueinander senkrechten Richtungen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen beginnt mit der Bereitstellung eines Substrats 12 aus Halbleitermaterial. Das Material des Substrats 12 ist vorzugsweise Siliziumkarbid (SiC). Es kommen aber auch andere Halbleitermaterialien wie Silizium, Galliumarsenid, Cadmiumtellurid, Zinkselenid, Galliumnitrid etc. in Frage. Die Substrate 12 sind vorzugsweise als Wafer ausgebildet. Das Substrat 12 ist anfangs undotiert oder äußerst schwach n-dotiert, z.B. mit einer Dotierkonzentration von  $< 5 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$ .

Die Substrate 12 besitzen eine Dicke von 4  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ . In der Regel sind die Substrate 12 gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren allerdings dünner. Meist besitzen die Substrate 12 eine Dicke von zwischen 4 und 30  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 4 und 25  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 4 und 20  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 4 und 15  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 6 und 14  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 7 und 13  $\mu\text{m}$ .

Ein Beispiel für die Gewinnung solcher Substrate 12 ist in Fig. 1 dargestellt. Ein undotierter oder schwach n-dotierter Ausgangskristall 2 (z.B. ein Waferstab) wird in dünne Scheiben aufgespalten, wodurch die Substrate 12 (Dünnwafers) gebildet werden. Die abgespaltenen Substrate 12 können, sofern erforderlich, während des Herstellprozesses temporär, d.h. reversibel, durch Trägerwafer oder ähnliche Strukturen mechanisch gehalten werden, um den Bruch des Substrats 12 zu vermeiden. Eine weitere Alternative ist Dünnschleifen.

Die Dicke der einzelnen Substrate 12 entspricht vorzugsweise einer vorher ermittelten Breite einer Kombination aus aktiver Driftzone zuzüglich einer Feldstoppschicht und einer oberflächlichen funktionalen Zone, wie später näher beschrieben wird. Die Gesamtdicke des Substrats 12 ist somit allein von der Art und vor allem von der Spannungsklasse des herzustellenden Halbleiterbauelements bestimmt. Je höher die Spannungsklasse, umso dicker das Substrat 12. Die obere Grenze von 300  $\mu\text{m}$  ist bedingt durch den sinnvollen Anwendungsbereich der Ionenimplantation (Protonenstrahl in Silizium). In SiC ist die maximale Dicke mit heute industriell verfügbaren Beschleunigern 30  $\mu\text{m}$ . Dies ist auch deshalb eine sinnvolle Obergrenze, weil eine radioaktive Aktivierung des Grundmaterials aufgrund zu hoher Ionenstrahlenergie vermieden werden sollte.

Ein Dotierprofil eines schwach n-dotierten Substrats 12 ist in Fig. 2 dargestellt. Das Dotierprofil ist entlang des Schnitts A-A' gezeigt. c steht für die Dotierkonzentration.

Nach der Bereitstellung der Substrate 12 erfolgt die Erzeugung einer dotierten Driftzone (auch aktive Zone oder spannungsaufnehmende Zone genannt) im Substrat 12 mittels Ionenimplantation. Der entsprechende grundsätzliche Aufbau ist in Fig. 3 dargestellt. Der in Fig. 3 gezeigte Aufbau zur Ionenimplantation in ein Substrat 12 zeigt eine Bestrahlungskammer 8, in der üblicherweise ein Hochvakuum vorliegt. In der Bestrahlungskammer 8 ist das zu dotierende Substrat 12 in einer Substrathalterung 30 aufgenommen.

Ein Ionenstrahl 10 wird mittels eines Teilchenbeschleunigers (nicht dargestellt) erzeugt und in die Bestrahlungskammer 8 geleitet. Dort wird die Energie des Ionenstrahls 10 durch einen Energiefilter 20 aufgespreizt und er trifft auf das zu bestrahlende Substrat 12. Alternativ kann der Energiefilter 20 in einer separaten, mit Ventilen verschließbaren Vakuumkammer innerhalb der Bestrahlungskammer 8 oder unmittelbar angrenzend an die Bestrahlungskammer 8 angeordnet sein.

Die Substrathalterung 30 muss nicht stationär sein, sondern kann optional mit einer Einrichtung zum Verschieben des Substrates 12 in x-y (in der Ebene senkrecht zur Blattebene) versehen sein. Als Substrathalterung 30 kommt außerdem auch ein Waferad in Betracht, auf welchem die zu implantierenden Substrate 12 fixiert werden und das sich während der Implantation dreht. Auch eine Verschiebung der Substrathalterung 30 in Strahlrichtung (z-Richtung) kann möglich sein. Weiterhin kann die Substrathalterung 30 optional mit einer Heizung oder Kühlung versehen sein.

Das Grundprinzip des Energiefilters 20 ist in Fig. 4 dargestellt. Der monoenergetische Ionenstrahl 10 wird beim Durchtritt durch den als mikrostrukturierte Membran ausgestalteten Energiefilter 20 abhängig vom Eintrittsort in seiner Energie modifiziert. Die resultierende Energieverteilung der Ionen des Ionenstrahls 10 führt zu einer Modifikation des Tiefenprofils des implantierten Stoffes in der Matrix des Substrats 12. E1 bezeichnet die Energie eines ersten Ions, E2 bezeichnet die Energie eines zweiten Ions, c bezeichnet die Dotierkonzentration und d bezeichnet die Tiefe im Substrat 12. Im Diagramm rechts ist die übliche Gaußverteilung mit Bezugszeichen A gekennzeichnet, die ohne Einsatz eines Energiefilters 20 entsteht. Hingegen ist beispielhaft mit Bezugszeichen B eine Rechteckverteilung skizziert, die bei Einsatz eines Energiefilters 20 erzielt werden kann.

Die in Fig. 5 gezeigten Layouts bzw. dreidimensionalen Strukturen von Energiefiltern 20 zeigen die prinzipiellen Möglichkeiten, mittels Energiefilter 20 eine Vielzahl von Dotierstoff-tiefenprofilen oder Defekttiefenprofilen zu erzeugen. c bezeichnet wiederum die Dotierkonzentration und d bezeichnet wiederum die Tiefe im Substrat 12. Die Filterstrukturprofile können im Prinzip miteinander kombiniert werden, um neue Filterstrukturprofile und somit neue Dotierstofftiefenprofile oder Defekttiefenprofile zu erhalten.

Derartige Energiefilter 20 sind in der Regel aus Silizium hergestellt. Sie besitzen eine Dicke von zwischen 3  $\mu\text{m}$  und 200  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise zwischen 5  $\mu\text{m}$  und 50  $\mu\text{m}$  und besonders bevorzugt zwischen 7  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$ . Sie können in einem Filterrahmen (nicht dargestellt) gehalten sein. Der Filterrahmen kann austauschbar in einer Filterhalterung (nicht dargestellt) aufgenommen sein.

Für die bevorzugte Ausbildung einer n-dotierten Driftzone 21 ist die Implantation mit Ionen aus Stickstoff, Phosphor oder Wasserstoff (letzteres nur für Siliziumkristalle) besonders geeignet.

Bei dem in Fig. 6 dargestellten Ausführungsbeispiel des Verfahrensschritts der Dotierung der Driftzone 21 erfolgt die Ionenimplantation in das Substrat 12 von nur einer Seite, hier der Vorderseite des Substrats 12. Der kurze, schwarz gefüllte Pfeil deutet die durch den Energiefilter 20 transmittierten Ionen minimaler Energie an, und der lange, schwarz gefüllte Pfeil deutet die durch den Energiefilter 20 transmittierten Ionen maximaler Energie an. Das resultierende Dotierprofil entlang des Schnitts A-A' ist rechts im Koordinatensystem gezeigt. c steht wiederum für die Dotierkonzentration. Das Dotierprofil ist über das gesamte Substrat 12 hinweg annähernd gleichmäßig. Ebenso kann die Ionenimplantation in das Substrat 12 von der Rückseite des Substrats 12 erfolgen. In diesem Ausführungsbeispiel wird das Substrat 12 ebenso wie in allen anderen Ausführungsbeispielen selbst als Driftzone 21 ausgebildet. Eine Epitaxie-Abscheidung findet nicht statt.

Das in Fig. 7 dargestellte Ausführungsbeispiel des Verfahrensschritts der Dotierung der Driftzone 21 ist ähnlich wie das Ausführungsbeispiel aus Fig. 6. Der einzige Unterschied besteht in der Form des Dotierprofils, das eine zur Rückseite des Substrats 12 ansteigende Form aufweist.

Das in Fig. 8a dargestellte Ausführungsbeispiel des Verfahrensschritts der Dotierung der Driftzone 21 ist ähnlich wie das Ausführungsbeispiel aus Fig. 6, allerdings wird das Substrat 12 von zwei gegenüberliegenden Seiten, hier also Vorderseite und Rückseite des Substrats 12, dotiert. Es wird jeweils von der Vorderseite und der Rückseite des Substrats 12 ein Dotierprofil mittels geeignet ausgebildetem Energiefilter 20 realisiert, wobei jedes Dotierprofil durch ein Konzentrationsplateau P1, P2 und eine Dotierflanke S1, S2 gekennzeichnet ist. Dadurch werden in der Regel überlappende Dotierprofile ausgebildet, und die dotierbare Dicke des Substrats 12 kann auf diese Weise erhöht werden. S1, S2 können neben dem in Fig. 8a gezeigten linearen Anstieg bzw. Abfall auch als beliebige Kurvenform ausgebildet sein. Ebenso können die Plateaus P1 und P2 ansteigend oder fallend bzw. als beliebige Kurvenform ausgestaltet sein.

Beispielsweise ist die Reichweite von Stickstoffimplantationen in SiC mit heute industriell verfügbaren Beschleunigern deutlich begrenzt. Durch zwei kombinierte Implantationen, von denen eine Implantation von der Vorderseite erfolgt und die andere Implantation von der Rückseite erfolgt, kann eine dotierte Substratdicke von bis zu 20  $\mu\text{m}$ , eventuell auch bis zu 30  $\mu\text{m}$ , mit verfügbaren Beschleunigern erreicht werden. Dies erhöht die Spannungsfestigkeit des herzustellenden Halbleiterbauteils.

Die Implantation von zwei Seiten wird meist nacheinander erfolgen. In diesem Fall wird das Substrat 12 zwischen den Implantationen in der Regel um 180° gedreht, sodass mit derselben Strahlvorrichtung gearbeitet werden kann. Es ist aber auch denkbar, die Implantationen von zwei Seiten mit zwei verschiedenen Strahlvorrichtungen auszuführen. Dann ist auch eine gleichzeitige Implantation von beiden Seiten denkbar.

Fig. 8b zeigt ein beispielhaftes Summendotierprofil des Substrats bei einer Implantation ähnlich wie in Fig. 8a. Das Summendotierprofil der Driftzone 21 weist in einem Mittelbereich des Substrats 12 eine Senke auf. Ebenso könnte es an dieser Stelle eine Erhebung aufweisen. Das Dotierprofil der Driftzone 21 ist von einem ersten Randbereich des Substrats 12 (links) zum Mittelbereich hin im Wesentlichen konstant. Ebenso ist das Dotierprofil der Driftzone 21 von einem zweiten Randbereich des Substrats 12 (rechts), der dem ersten Randbereich gegenüberliegt, zum Mittelbereich hin im Wesentlichen konstant.

Es ist auch möglich, dass die Dotierung des Substrats 12 nicht nur zur Herstellung einer Driftzone 21, sondern auch zur Herstellung anderer Bereiche des Halbleiterbauelements 4 verwendet wird. Dann kann es auch sinnvoll sein, wie gestrichelt dargestellt, dass bei einer Implantation von zwei Seiten das Dotierprofil von einem zweiten Randbereich des Substrats 12, der dem ersten Randbereich gegenüberliegt, zum Mittelbereich hin abfällt. Dadurch kann beispielsweise im zweiten Randbereich eine höher dotierte Feldstoppschicht ausgebildet werden.

Der Mittelbereich liegt in allen Ausführungsformen in der Regel innerhalb eines Bereichs von zwischen 20% und 80%, bevorzugt zwischen 30% und 70%, mehr bevorzugt zwischen 40% und 60%, der Dicke des Substrats 12.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform ist in Fig. 9 dargestellt. Die Ausführungsform entspricht in wesentlichen Teilen der Ausführungsform nach Fig. 8a und 8b. Es wird wiederum jeweils von der Vorderseite und der Rückseite des Substrats 12 ein Dotierprofil mittels geeignet ausgebildetem Energiefilter 20 realisiert, wobei jedes Dotierprofil durch ein Konzentrationsplateau P1, P2 und eine Dotierflanke S1, S2 gekennzeichnet ist. Der Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, dass Schwankungen in der Dicke des Substrats 12 sich nur wenig in Schwankungen der resultierenden Summendotierkonzentration auswirken und somit eine Erhebung oder Senke im Mittelbereich der Driftzone 21 möglichst vermieden werden. Je flacher S1 und S2 gestaltet werden, umso kleiner werden resultierende Dotierkonzentrationsschwankungen. S1, S2 können neben dem in Fig. 9 gezeigten linearen Anstieg bzw. Abfall wiederum auch als beliebige Kurvenform ausgebildet sein. Ebenso können die Plateaus P1 und P2 wiederum ansteigend oder fallend bzw. als beliebige Kurvenform ausgestaltet sein.

Im Falle der Herstellung bestimmter Bauelemente, wie sie weiter unten unter Bezugnahme auf Fig. 14 und 15 beschrieben sind, muss die energiegefilterte Implantation maskiert werden oder es muss mehrfach eine maskierte energiegefilterte Implantation durchgeführt werden. Wie in Fig. 10 dargestellt, ist auf der Vorderseite des Substrats 12 eine Maskierung 26 angeordnet. Damit wird erreicht, dass der von der Maskierung 26 überdeckte Bereich des Substrats 12 nicht dotiert wird. Die Maskierung 26 muss nicht fest mit dem Substrat 12 verbunden sein, sondern kann auch durch vom Substrat 12 beabstandet angeordnete Siebmasken (nicht dargestellt) realisiert werden.

Wie in Fig. 10 dargestellt, können hierdurch trotz Dotierung der Driftzone 21 beispielsweise undotierte Gebiete 14 im Substrat 12 verbleiben.

5 Maskierungen 26 können auch auf gegenüberliegenden Seiten des Substrats 12 ausgebildet sein, dies sogar gleichzeitig. Ein Beispiel hierfür ist in Fig. 11 zu sehen, bei der eine p-dotierte Säule 16 in einer n-dotierten Driftzone 21 ausgebildet wird, wie es für die Herstellung des Halbleiterbauelements 4 nach Fig. 15 notwendig ist. Hier ist der oben dargestellte Ionenstrahl 10 ein Ionenstrahl zur p-Dotierung, beispielsweise mit Aluminiumionen, während der unten dargestellte Ionenstrahl 10 ein Ionenstrahl zur n-Dotierung, beispielsweise mit Stickstoffionen, ist.

Die in Fig. 12 skizzierte Dotierung einer Feldstoppschicht 18 auf der Rückseite des Substrats 12 wird vor, gleichzeitig oder nach der Ausbildung der Dotierung der Driftzone 21 in das Substrat 12 eingebracht. Die Dotierung der Feldstoppschicht 18 erfolgt bevorzugt von der Rückseite des Substrats 12, kann jedoch auch bei geeigneter Ausgestaltung des Implantationsprozesses und des Energiefilters 20 von der Vorderseite implantiert werden.

Die Feldstoppschicht 18 ist vorzugsweise n-dotiert. Somit sind für die Ausbildung der Feldstoppschicht 18 insbesondere Stickstoffionen oder Phosphorionen geeignet. Die Dotierung der Feldstoppschicht 18 ist stärker als die Dotierung der Driftzone 21. Vorzugsweise ist die Dotierung der Feldstoppschicht 18 mehr als doppelt so stark wie die Dotierung der Driftzone 21. Die Dicke der Feldstoppschicht 18 beträgt zwischen 0,5  $\mu\text{m}$  und 6  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 0,8  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$ . Für die Ausbildung der Feldstoppschicht 18 wird kein Epitaxieprozess benötigt.

Ebenso wird auf der Vorderseite des Substrats 12 vor, gleichzeitig oder nach der Ausbildung der Dotierung der Driftzone 21 in das Substrat 12 und ebenso vor, gleichzeitig oder nach der Ausbildung der Dotierung der Feldstoppschicht 18 eine oberflächliche funktionale Zone 24 erzeugt. Dies kann mittels Dotierung verschiedener Bereiche der Vorderseite des Substrats 12 durch Ionenimplantation unter Verwendung eines Energiefilters 20 erfolgen; es sind aber auch andere Techniken denkbar.

Wenn manche oder alle Bereiche der oberflächlichen funktionalen Zone 24 durch Implantation dotiert werden, erfolgt die Dotierung dieser Bereiche der oberflächlichen funktionalen Zone 24 bevorzugt von der Vorderseite des Substrats 12, kann jedoch auch bei geeigneter Ausgestaltung des Implantationsprozesses und des Energiefilters 20 von der Rückseite erfolgen.

Die Dicke der oberflächlichen funktionalen Zone 24 beträgt zwischen 0,5  $\mu\text{m}$  und 6  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 0,8  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$ . Die oberflächliche funktionale Zone 24 kann in verschiedenster Weise ausgestaltet sein.

Alle im Rahmen der Erfindung beschriebenen Implantationen müssen in einem Annealprozess ausgeheilt werden, so dass die Dotieratome elektrisch aktiviert werden können.

Auf der Vorderseite des Substrats 12 können schließlich Kanalbereiche, p-n Übergänge, Anschlussmetallisierungen etc. aufgebracht werden. Auf der Rückseite Substrats 12 können eine Drain-Anschlussmetallisierung sowie ggfs. ein n++ dotiertes Anschlussgebiet angeordnet werden.

Ein Beispiel eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Halbleiterbauelements 4 mit vertikaler Struktur ist in Fig. 13 dargestellt.

Erfindungsgemäß hergestellt werden kann eine vertikale Halbleiterbauelement-Struktur, insbesondere für Dioden (Schottky, MPS-Diode und pn-Diode) und MOSFETs mit einer oberflächlichen funktionalen Zone 24 (IGBT, MOS-Transistor, Kanalbereich, p-n Übergang, Schottkydiode), einer Driftzone 21 sowie einer Feldstoppschicht 18, jedoch ohne Trägerwafer.

Diese Struktur ist dadurch gekennzeichnet, dass sie hinsichtlich ihrer vertikalen Ausdehnung genau der erforderlichen Breite der Driftzone 21 zuzüglich der Feldstoppschicht 18 und zuzüglich der funktionalen oberflächlichen Zone 24 entspricht. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass diese Struktur bei Ausbildung vollständiger vertikaler Hochvoltleistungsbauelemente die minimal denkbare Chipdicke bzw. Dicke des Substrats 12 erreicht.

Im Fall der Fig. 13 ist beispielhaft ein MOSFET dargestellt. S steht für den Sourceanschluss, G für den Gateanschluss und D für den Drainanschluss. Die oberflächliche funktionale Zone 24 besteht aus einem MOS-Kanalbereich 31, einer Gateelektrode 32, einem p-Body 33 und einem Sourceanschlussgebiet 34.

5

Ein weiteres Beispiel eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Halbleiterbauelements 4 mit vertikaler Struktur ist in Fig. 14 dargestellt. Identische Bezugszeichen bezeichnen identische Elemente wie in Fig. 13.

10 Reale Hochvoltbauelemente bestehen aus einem aktiven Bereich 40 und einem Randbereich 41. Aufgrund der nicht perfekt isolierenden Sägekante des Substrats 12 wird das Drainpotential am Rand des Substrats 12 immer auch an der Oberfläche anliegen. Die Aufgabe des Randbereiches 41 besteht darin, die Spannung zwischen Source und Drain an der Oberfläche lateral in definierter zuverlässiger Weise abzubauen. Konkret bedeutet dies,  
15 dass die Äquipotentiallinien 44 mit definierter Krümmung an die Oberfläche geführt werden müssen. Wichtig ist hierbei, dass die zulässige Feldstärke durch die Krümmung der Äquipotentiallinien 44 nicht überschritten wird. Es ist daher vorteilhaft, die Dotierung im Randbereich zu minimieren.

20 Bei der Struktur aus Fig. 14 ist Randbereich 41 undotiert bzw. niedriger dotiert Dotierprofil als der aktiven Bereich 40, oder allgemein unterscheidet sich das Dotierprofil im Randbereich 41 vom Dotierprofil im aktiven Bereich 40. Es gibt somit am Übergang zwischen aktivem Bereich 40 und Randbereich 41 einen Übergangsbereich 43, der durch einen Dotierungsgradienten charakterisiert ist. Die Feldstoppschicht 18 kann nur im aktiven Bereich 40  
25 angeordnet sein und am Übergangsbereich 43 enden, sich zusätzlich teilweise in den Randbereich 41 erstrecken oder vollständig über den Randbereich 41 erstrecken. Die in Fig. 14 gezeigte Konstruktion des Randbereichs 41 (Feldplattenrand 46) steht hier nur beispielhaft für weitere denkbare und bekannte Randkonstruktionen, wie etwa p-Ringe.

30 Ein weiteres Beispiel eines mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Halbleiterbauelements 4 mit vertikaler Struktur ist in Fig. 15 dargestellt. Identische Bezugszeichen bezeichnen identische Elemente wie in Fig. 13.

Die dargestellte Struktur ist ein Superjunction MOSFET, der identisch zum MOSFET aus Fig. 13 aufgebaut ist, zusätzlich aber noch p-dotierte Säulen 16 oder Gebiete aufweist, die zur Kompensation der n-Dotierung der Driftzone 21 in die spannungsaufnehmende Schicht eingebracht werden. Rechts sind das vertikale und laterale Dotierprofil dargestellt. Die Donator-Konzentration ist im lateralen Dotierprofil nach oben aufgetragen, während die Akzeptor-Konzentration nach unten aufgetragen ist. 45 bezeichnet eine Übergangszone mit Net-

5 todotierung nahe Null.

Viele weitere Halbleiterbauelemente 4 mit vertikaler Struktur können mit dem erfindungs-

10 gemäßen Verfahren hergestellt werden.

## Ansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen (4), das folgende Schritte aufweist:

5

  - Bereitstellen eines Substrats (12) aus Halbleitermaterial mit einer Dicke von 4  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ ; und
  - Erzeugen einer dotierten Driftzone (21) des Halbleiterbauelements (4) mittels Ionenimplantation in das Substrat (12) unter Verwendung eines Energiefilters (20), wobei der Energiefilter (20) eine mikrostrukturierte Membran mit einem vordefinierten Strukturprofil zur Einstellung eines durch die Implantation hervorgerufenen Dotierstofftiefenprofils und/oder Defekttiefenprofils im Substrat (12) ist, wobei beim Erzeugen der Driftzone (21) die gesamte Driftzone (21) dotiert wird;

10

15

wobei das Erzeugen der Driftzone (21) vollständig ohne epitaktische Abscheidung erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleitermaterial des Substrats (12) SiC ist und eine Dicke von 4  $\mu\text{m}$  bis 30  $\mu\text{m}$  aufweist.

20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass Halbleitermaterial des Substrats (12) vor dem Erzeugen der Driftzone (21) undotiert oder schwach n-dotiert ist.

25
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des Substrats (12) zwischen 4 und 25  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 4 und 20  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 4 und 15  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 6 und 14  $\mu\text{m}$ , mehr bevorzugt zwischen 7 und 13  $\mu\text{m}$  beträgt.

30
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Driftzone (21) über 40 bis 100%, bevorzugt 50 bis 98%, mehr bevorzugt 60 bis 95% der Höhe des Substrats (12) erstreckt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Driftzone (21) nach der Ionenimplantation n-dotiert ist.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Erzeugen der dotierten Driftzone (21) durch Ionenimplantation von einer Seite des Substrats (12) erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Erzeugen der dotierten Driftzone (21) durch Ionenimplantation von zwei Seiten des Substrats (12) erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (12) zwischen den Implantationen um 180° gedreht wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das durch jede der beiden Ionenimplantationen von den zwei Seiten des Substrats (12) erzeugte erste und zweite Dotierprofil jeweils von einem ersten Randbereich bzw. einem dem ersten Randbereich gegenüberliegenden zweiten Randbereich des Substrats (12) zu einem Mittelbereich des Substrats (12) hin ein Konzentrationsplateau (P1, P2) und in einem Mittelbereich des Substrats (12) eine abfallende Dotierflanke (S1, S2) aufweist.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eines der Konzentrationsplateaus (P1, P2), bevorzugt das dem zweiten Randbereich zugeordnete Konzentrationsplateau (P2), von dem jeweiligen Randbereich des Substrats (12) hin zum Mittelbereich des Substrats (12) abfällt.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass sich die beiden Dotierflanken (S1, S2) in einem Mittelbereich des Substrats (12) schneiden und sich die beiden Dotierprofile somit in dem Mittelbereich überlagern.
13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Erzeugen der dotierten Driftzone (21) mit Ionen aus Stickstoff, Phosphor oder Wasserstoff als Dotierstoff erfolgt.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine dotierte Feldstoppschicht (18) an einem Rand des Substrats (12) mittels Ionenimplantation unter Verwendung eines Energiefilters (20) erzeugt wird.
- 5 15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Feldstoppschicht (18) nach der Ionenimplantation n-dotiert ist, wobei die Dotierung der Feldstoppschicht (18) stärker ist als die Dotierung der Driftzone (21).
- 10 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Feldstoppschicht (18) zwischen 0,5  $\mu\text{m}$  und 150  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 0,8  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$ , beträgt.
- 15 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Ionenimplantation zum Erzeugen der Feldstoppschicht (18) von der Seite des Substrats (12), auf der die Feldstoppschicht (18) ausgebildet wird, erfolgt.
- 20 18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine oberflächliche funktionale Zone (24) mit Bereichen unterschiedlicher Dotierung unter Verwendung von Ionenimplantation mit einem Energiefilter (20) erzeugt wird.
- 25 19. Verfahren nach Anspruch 18, rückbezogen auf einen der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die oberflächliche funktionale Zone (24) an einem Rand des Substrats (12) liegt, der der Feldstoppschicht (18) gegenüberliegt.
- 30 20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Implantation von Bereichen der oberflächlichen funktionalen Zone (24) von der Seite des Substrats (12), auf der die oberflächliche funktionale Zone (24) ausgebildet wird, erfolgt.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der oberflächlichen funktionalen Zone (24) zwischen 0,5  $\mu\text{m}$  und 6  $\mu\text{m}$ , bevorzugt zwischen 0,8  $\mu\text{m}$  und 5  $\mu\text{m}$ , beträgt.

22. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich p-dotierte Bereiche oder Säulen (16) im Bereich der Driftzone (21) mittels Ionenimplantation unter Verwendung eines Energiefilters (20) erzeugt werden.
- 5
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 21 oder Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ionenimplantation zumindest der oberflächlichen funktionalen Zone (24) und/oder der p-dotierten Bereiche oder Säulen (16) das Substrat (12) bereichsweise maskiert wird.
- 10
24. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bereitstellen des Substrats (12) durch Aufspalten eines stabförmigen Ausgangskristalls (2) aus dem Halbleitermaterial in dünne Scheiben erfolgt.
- 15
25. Halbleiterbauelement (4) mit einem Substrat (12) aus Halbleitermaterial, das eine Dicke von 4  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ , bevorzugt 4  $\mu\text{m}$  bis 30  $\mu\text{m}$ , aufweist, wobei das Halbleiterbauelement (4) ein Dotierprofil des Substrats (12) in einem Mittelbereich des Substrats (12) eine Senke oder eine Erhebung aufweist.
- 20
26. Halbleiterbauelement (4) nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Dotierprofil des Substrats (12) von einem ersten Randbereich des Substrats (12) zum Mittelbereich hin im Wesentlichen konstant ist.
- 25
27. Halbleiterbauelement (4) nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass das Dotierprofil des Substrats (12) von einem zweiten Randbereich des Substrats (12), der dem ersten Randbereich gegenüberliegt, zum Mittelbereich hin im Wesentlichen konstant ist.
- 30
28. Halbleiterbauelement (4) nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Erhebung oder Senke in einem Mittelbereich einer im Substrat (12) ausgebildeten Driftzone (21) angeordnet ist.

29. Halbleiterbauelement (4) nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass das Dotierprofil des Substrats (12) von einem zweiten Randbereich des Substrats (12), der dem ersten Randbereich gegenüberliegt, zum Mittelbereich hin abfällt.
- 5 30. Halbleiterbauelement (4) nach einem der Ansprüche 25 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleitermaterial SiC ist.
31. Halbleiterbauelement (4) nach einem der Ansprüche 25 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass bereichsweise undotierte Gebiete (14) neben dotierten Gebieten, insbesondere neben dotierten Gebieten der Driftzone (21), angeordnet sind.
- 10

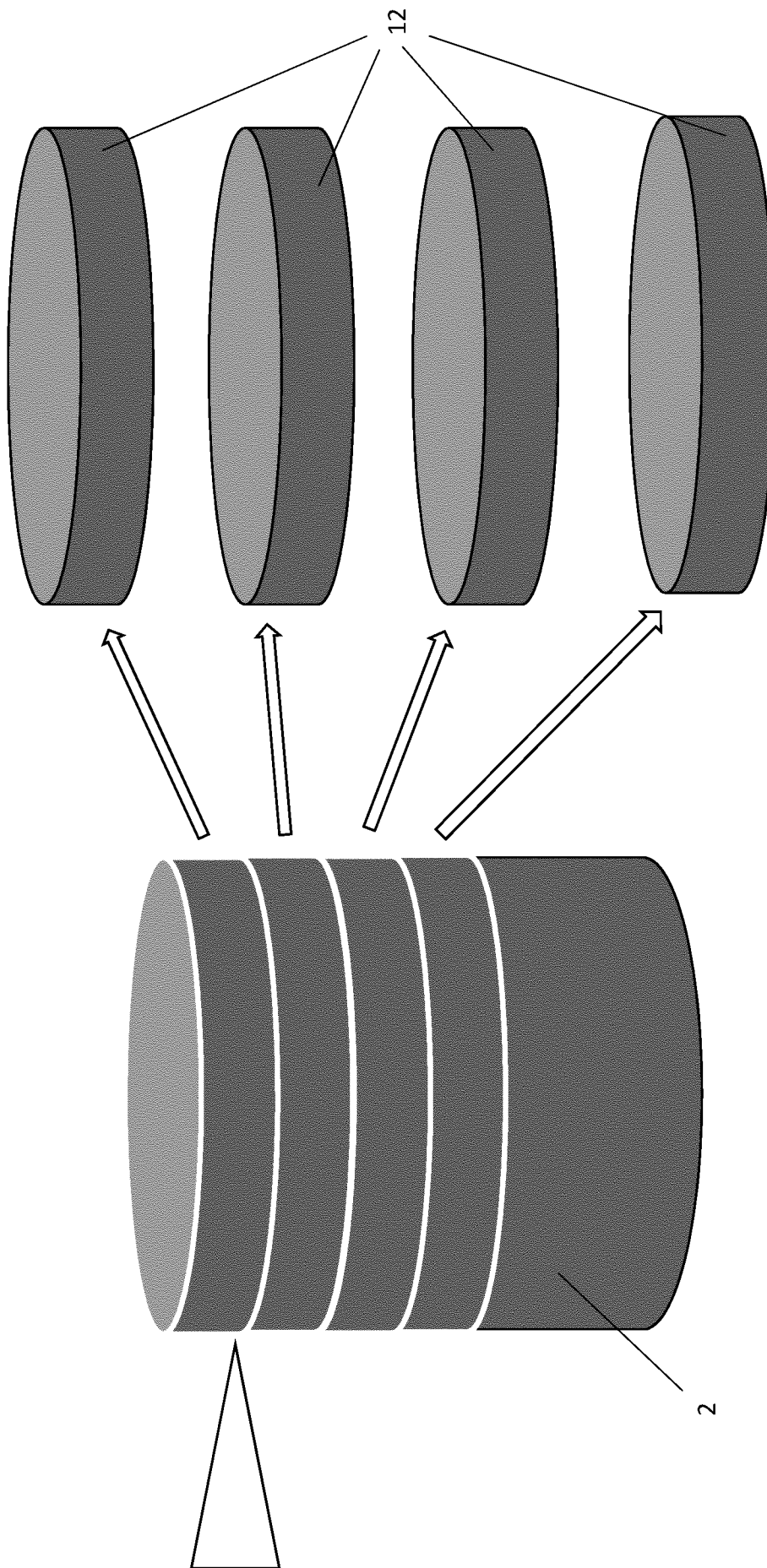


Fig. 1

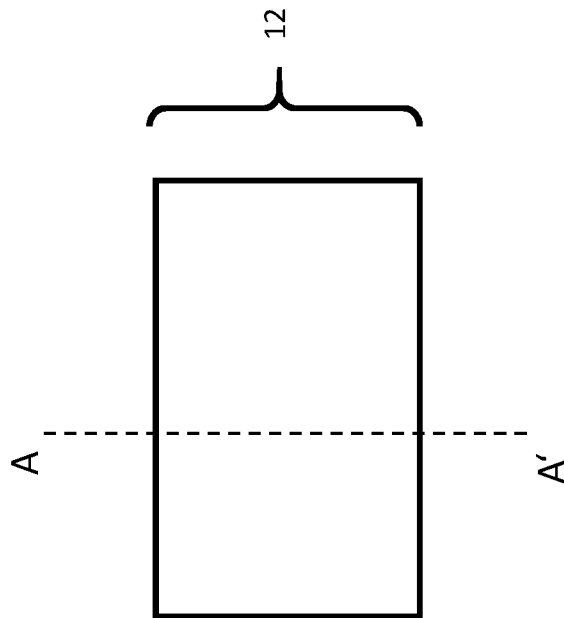
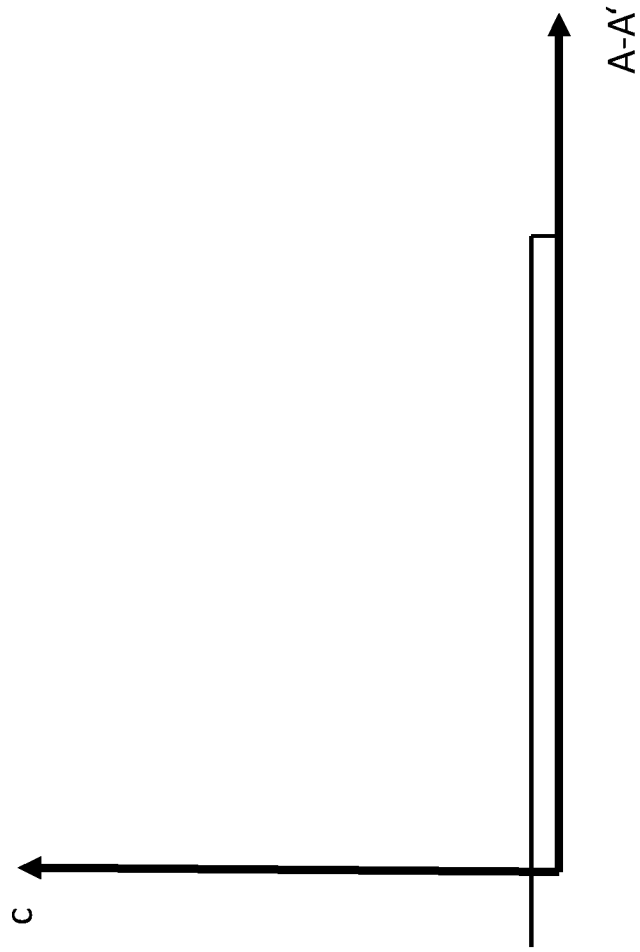


Fig. 2

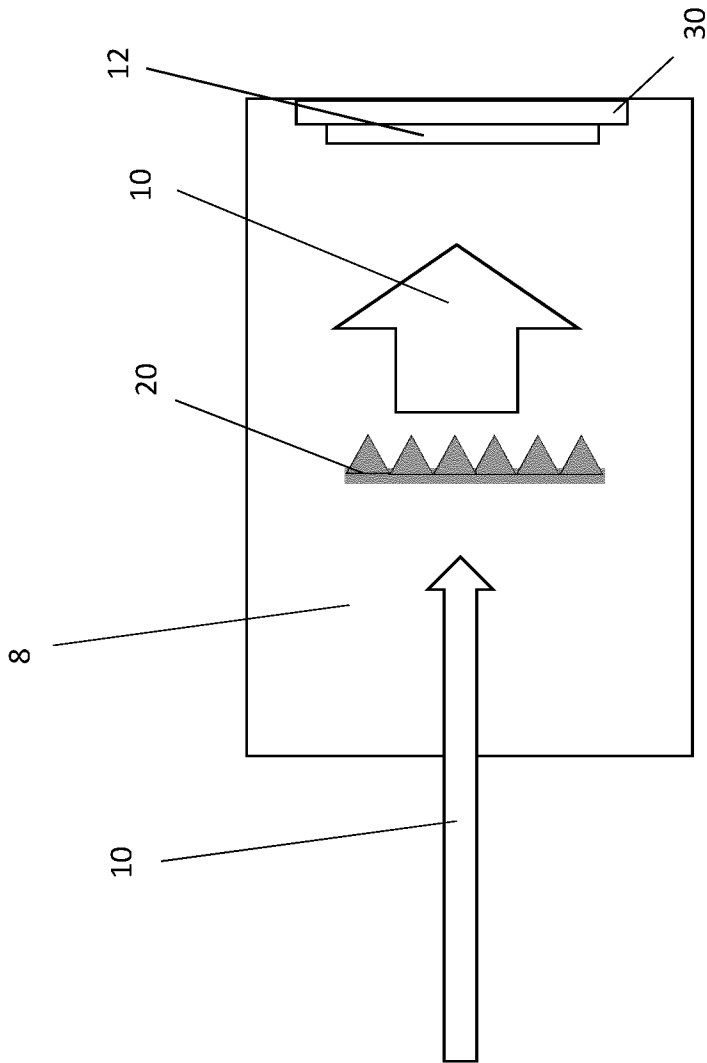


Fig. 3

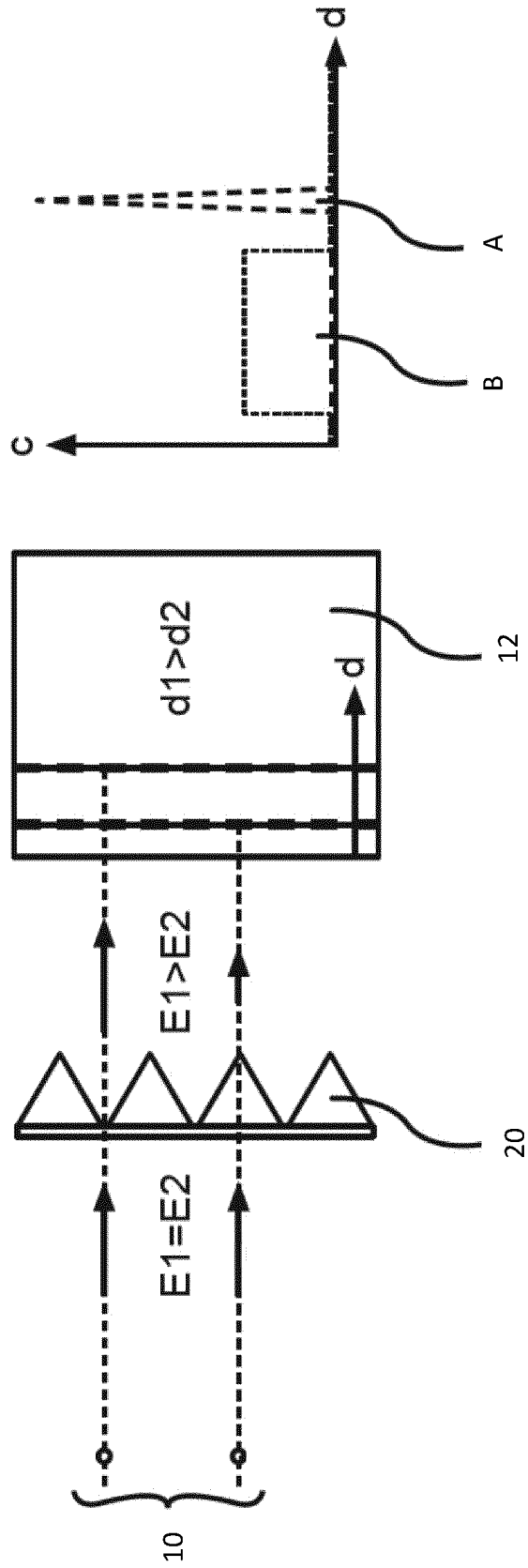


Fig. 4

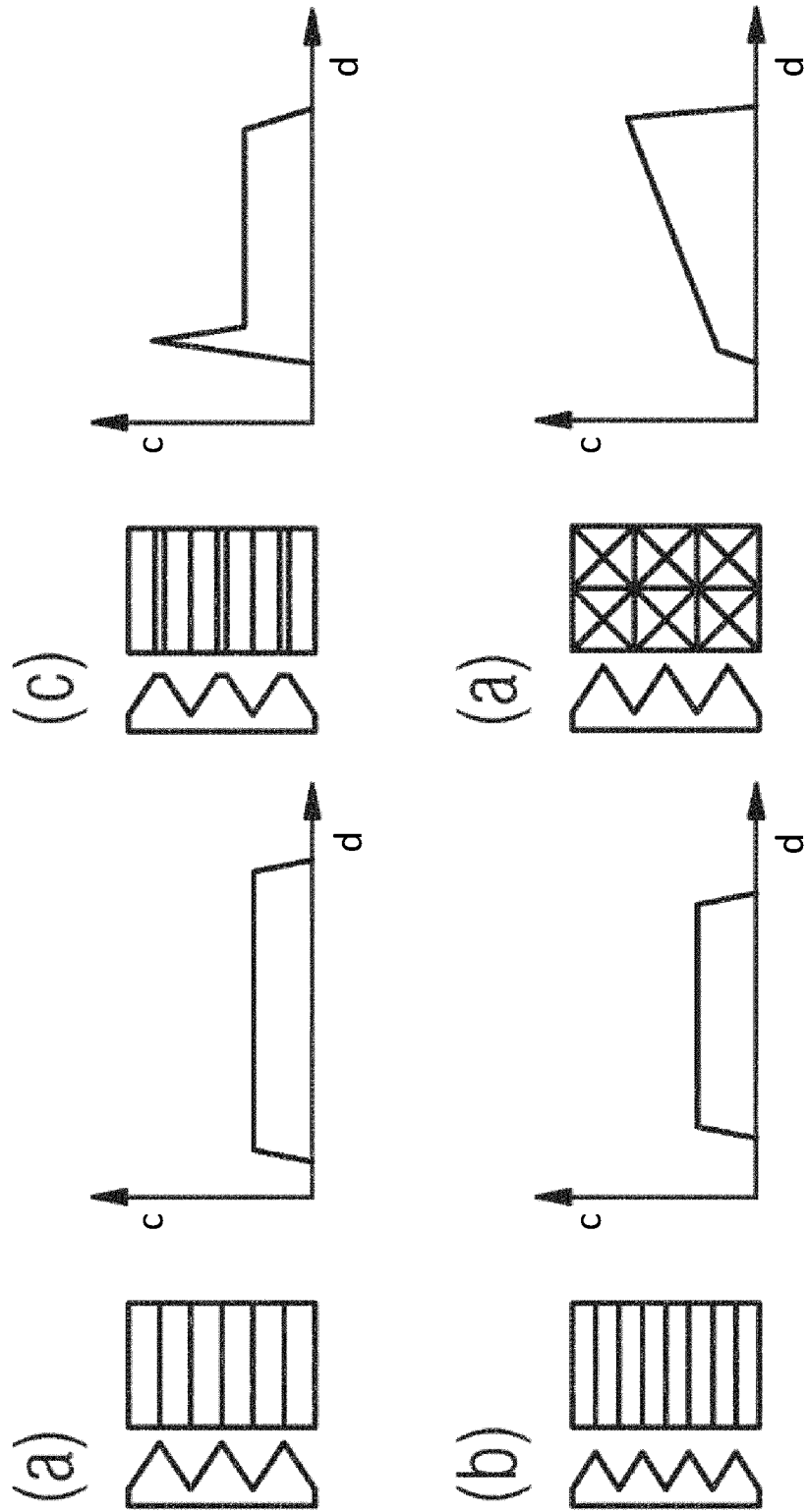


Fig. 5

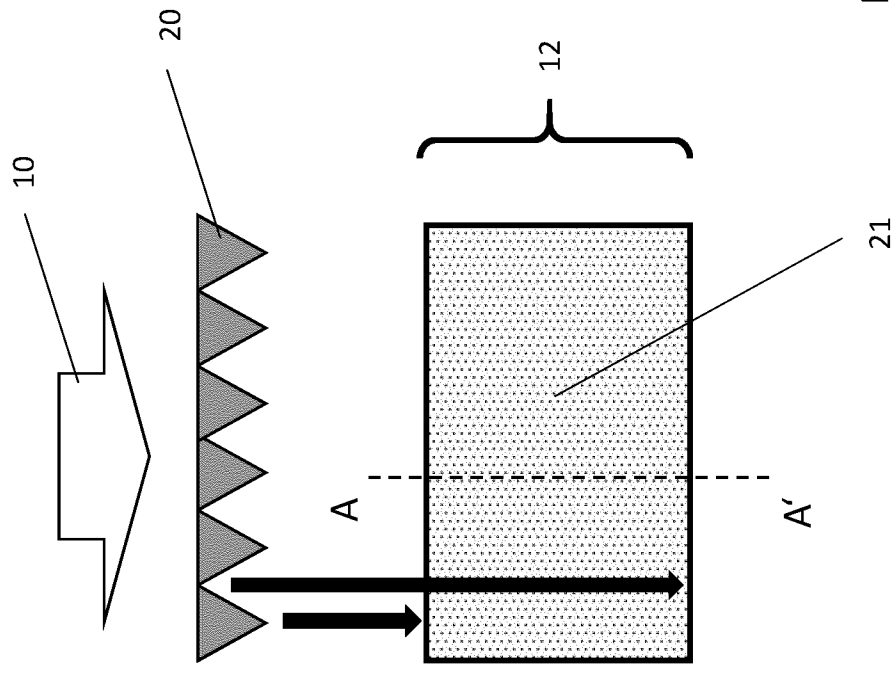
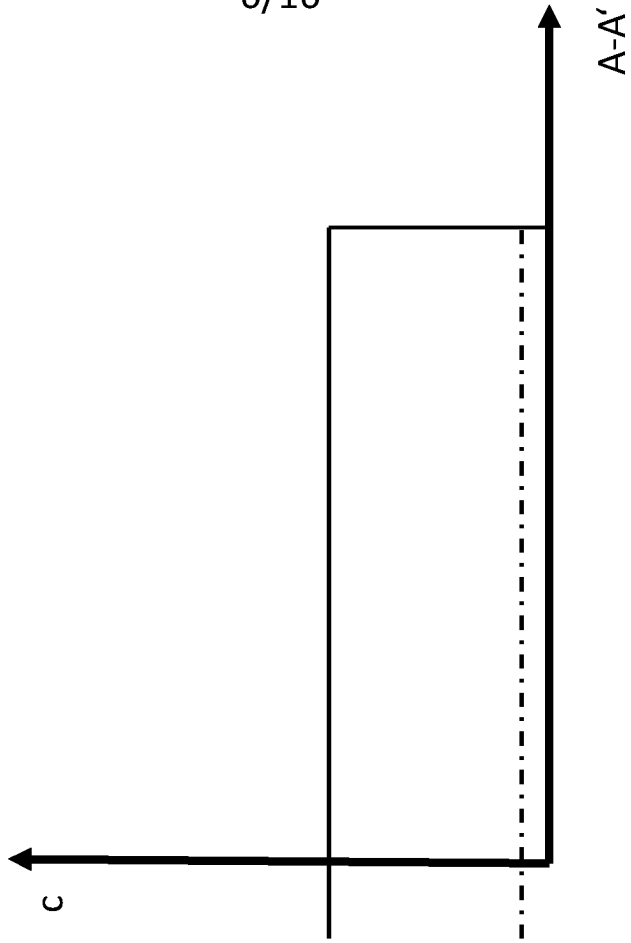


Fig. 6



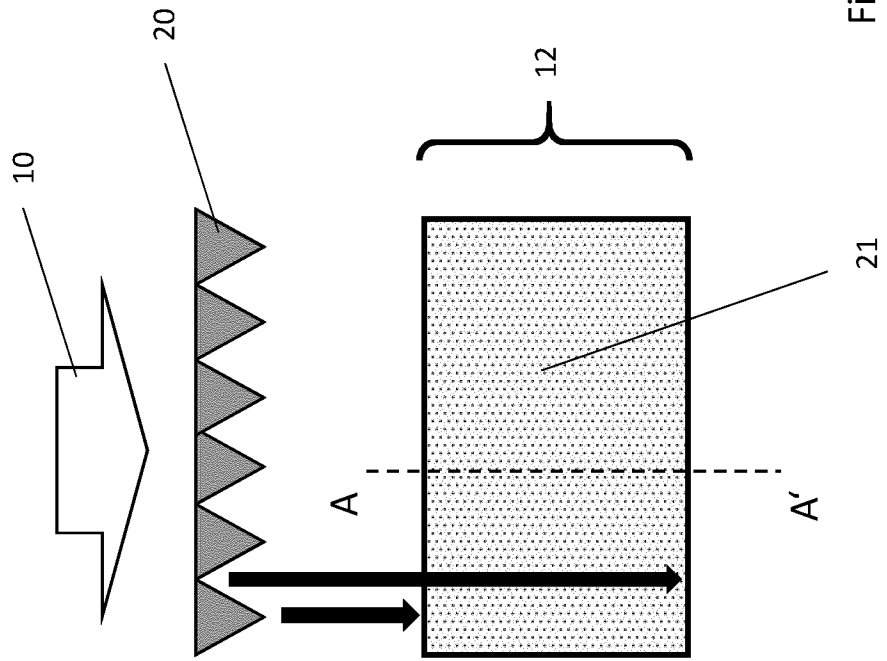
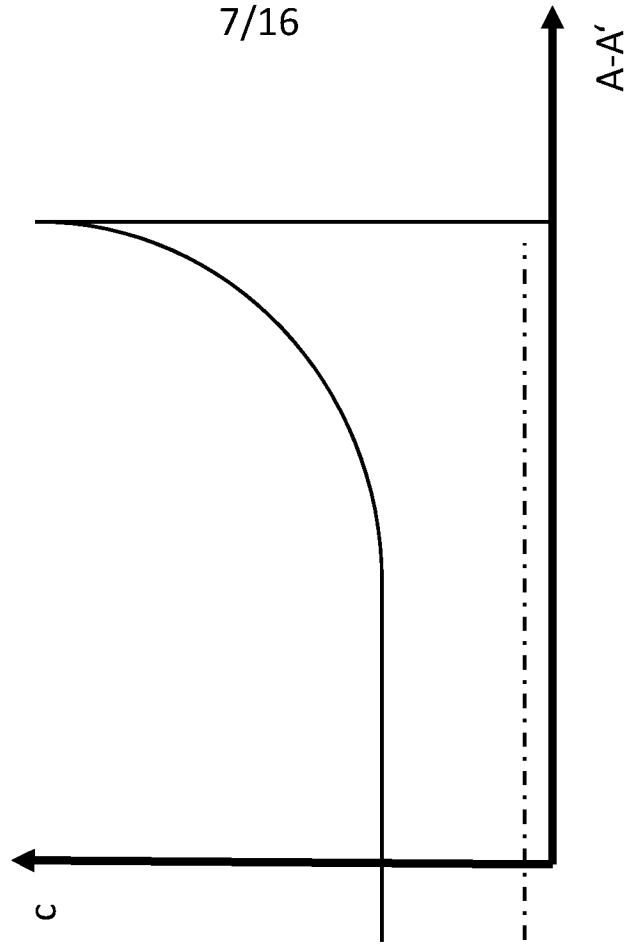


Fig. 7



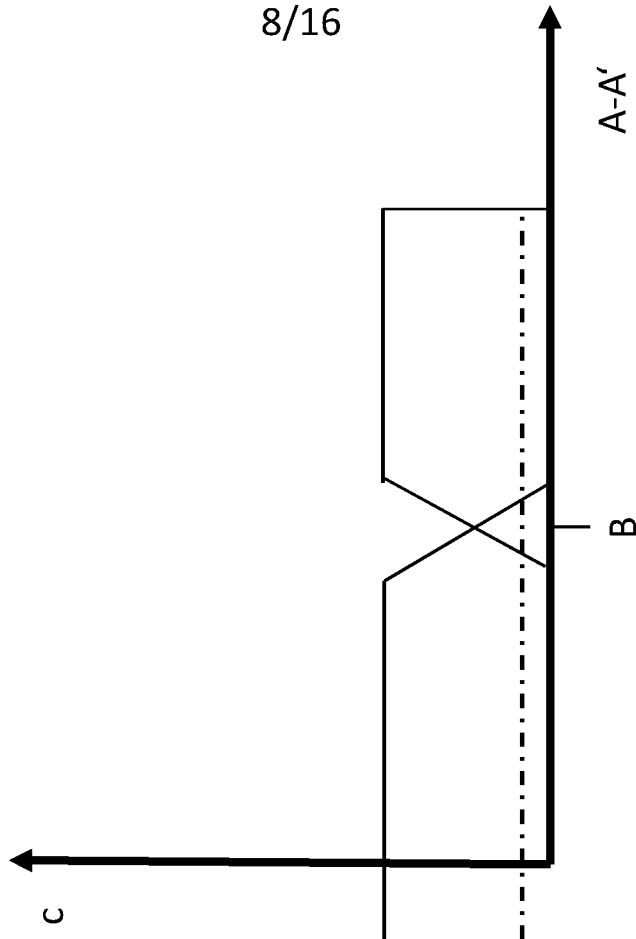
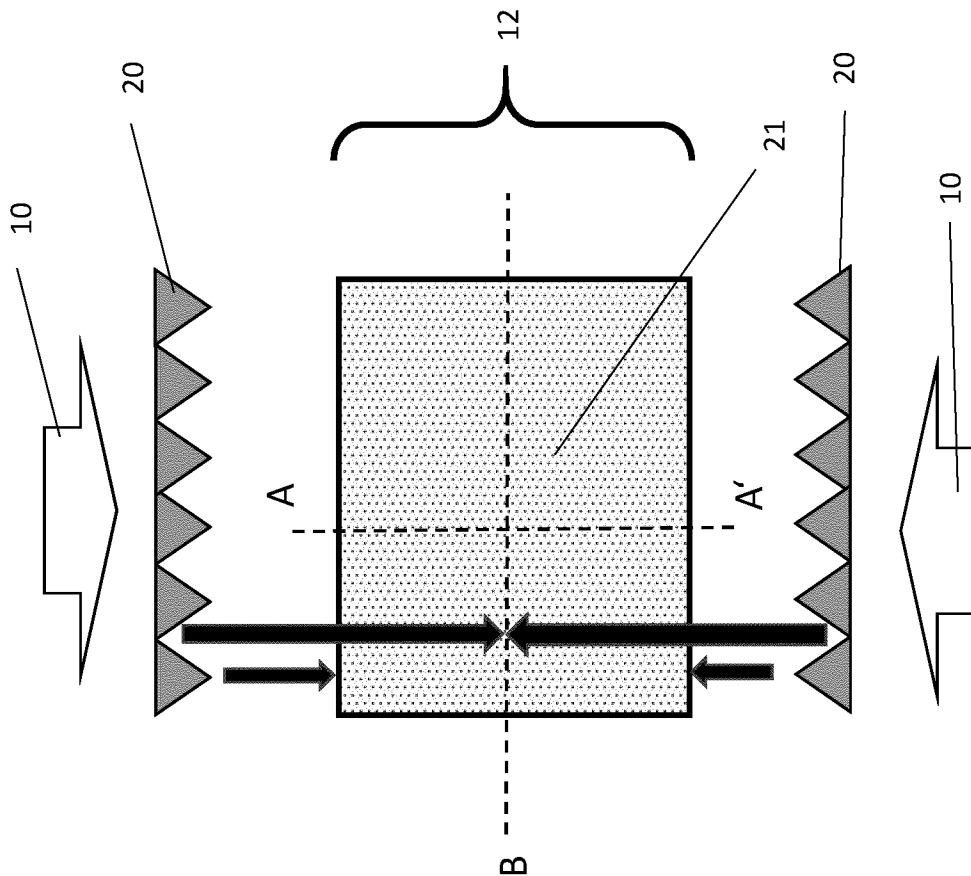


Fig. 8a

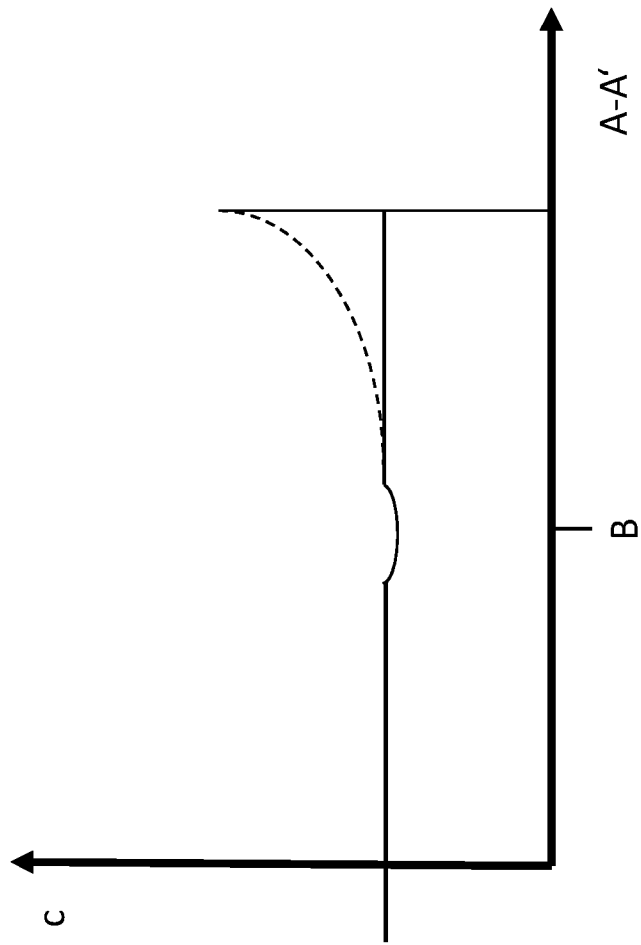


Fig. 8b

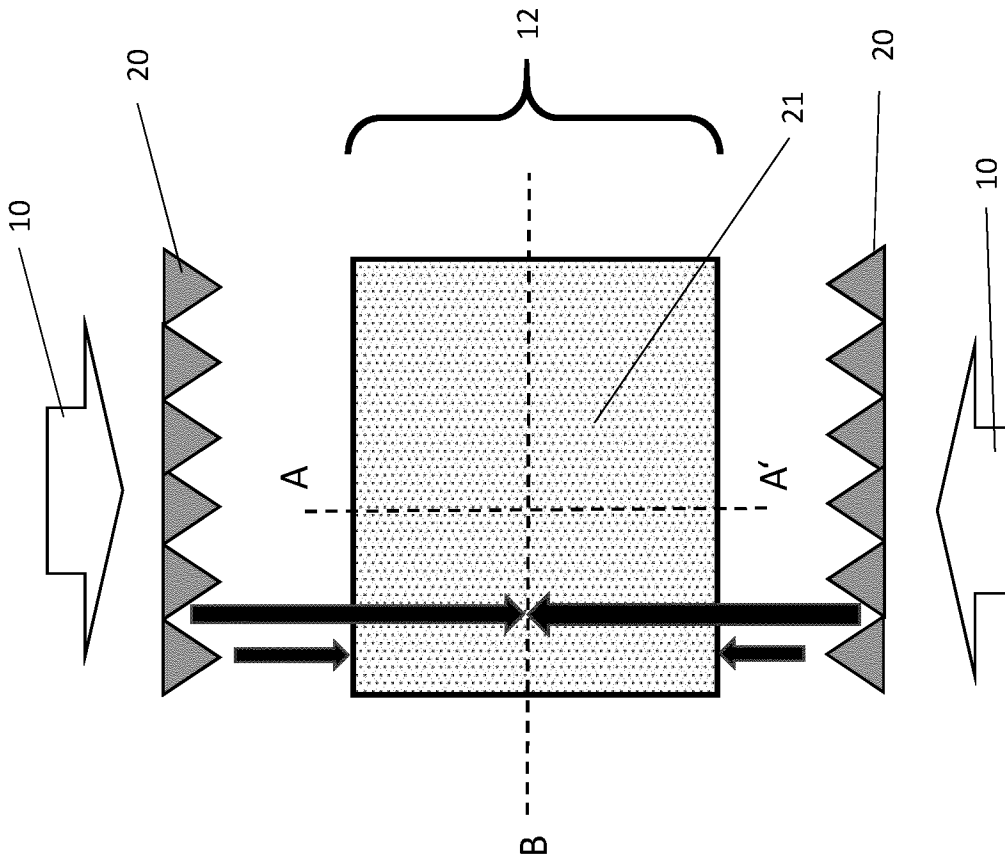
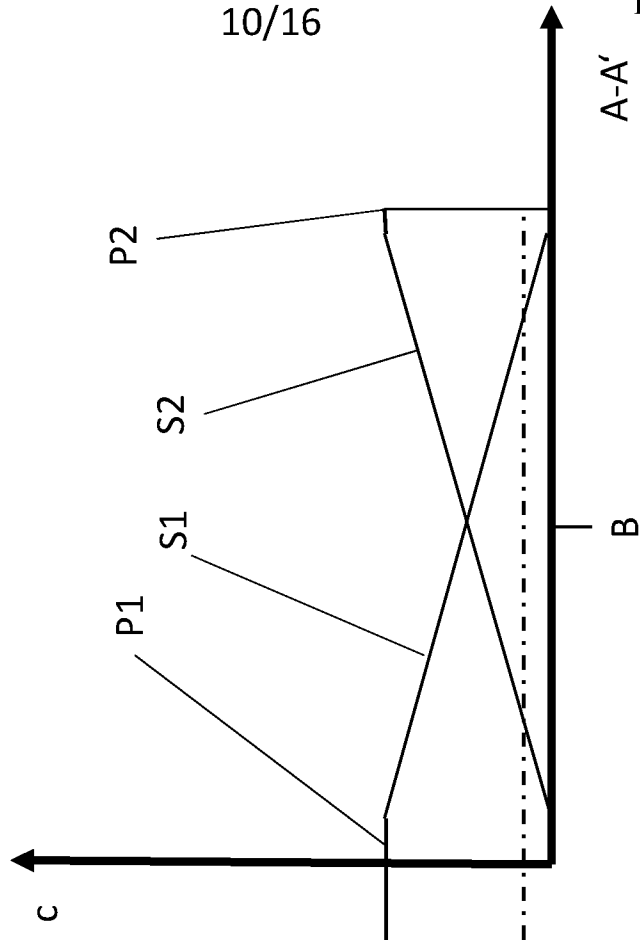


Fig. 9



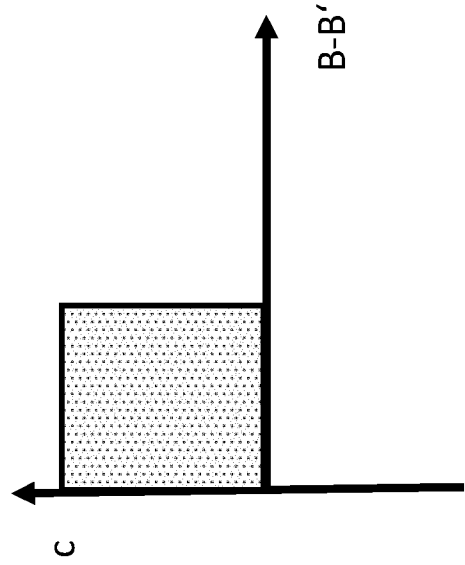
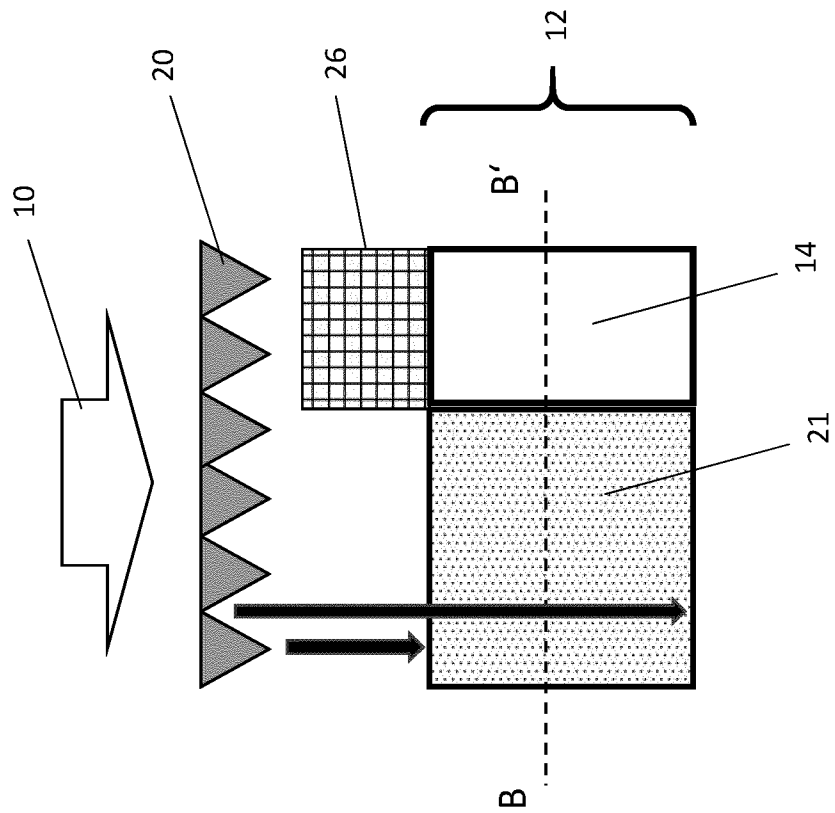


Fig. 10

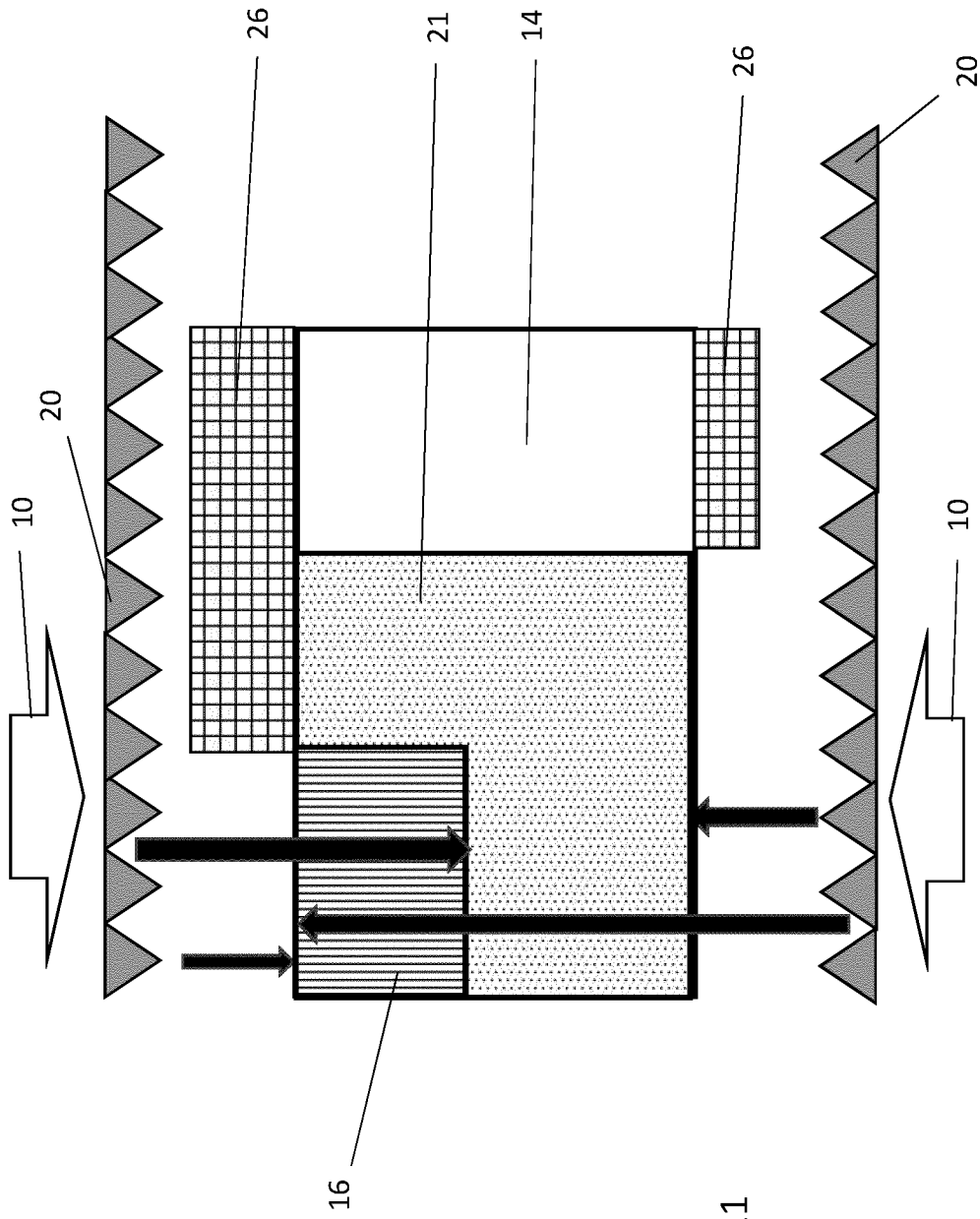


Fig. 11

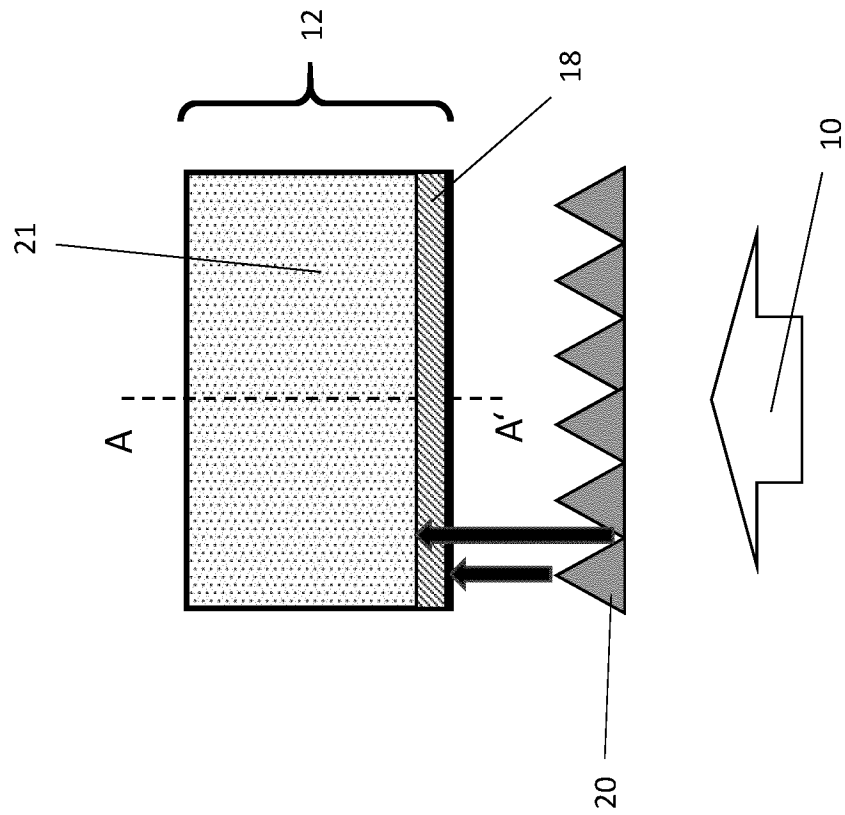
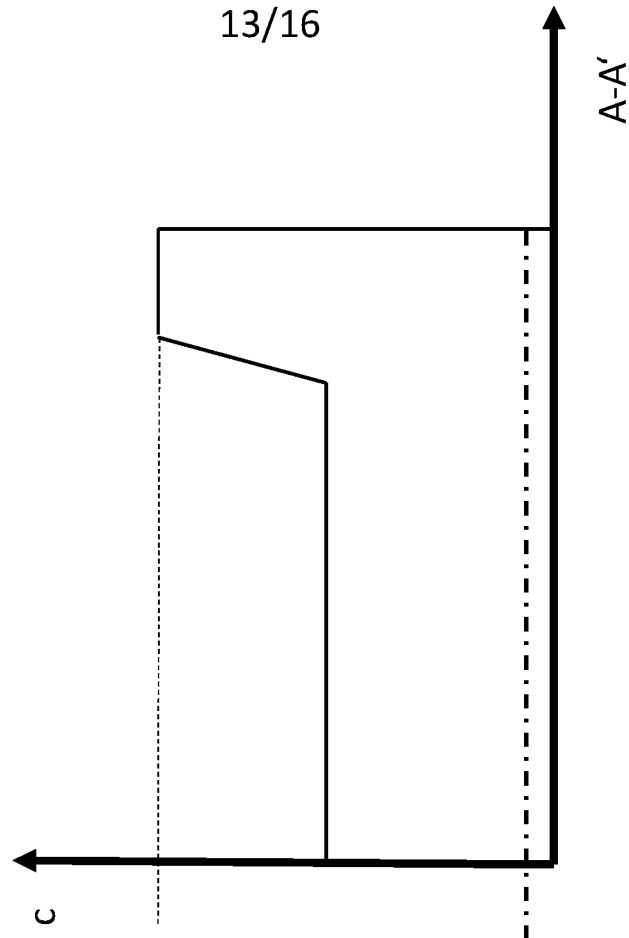


Fig. 12



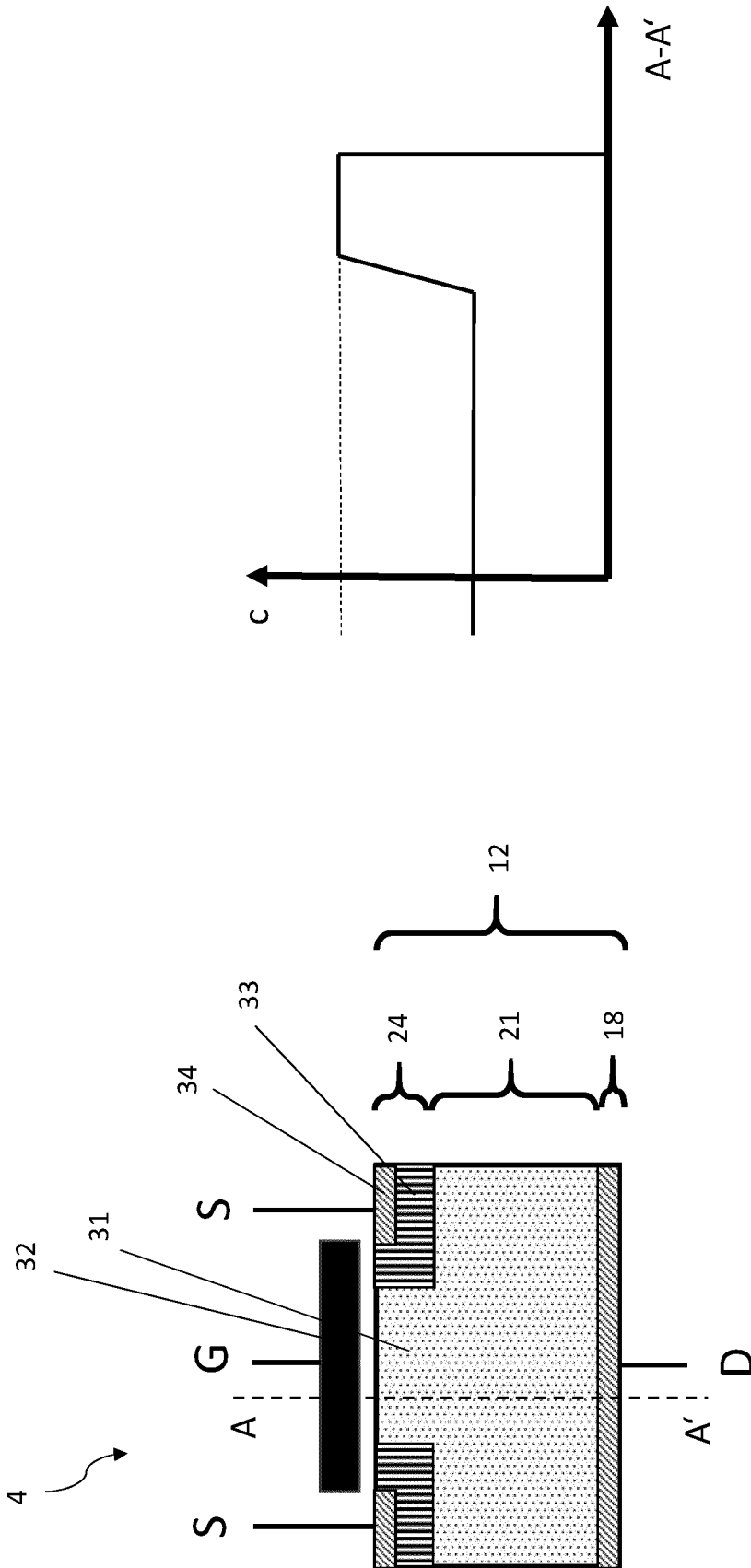


Fig. 13



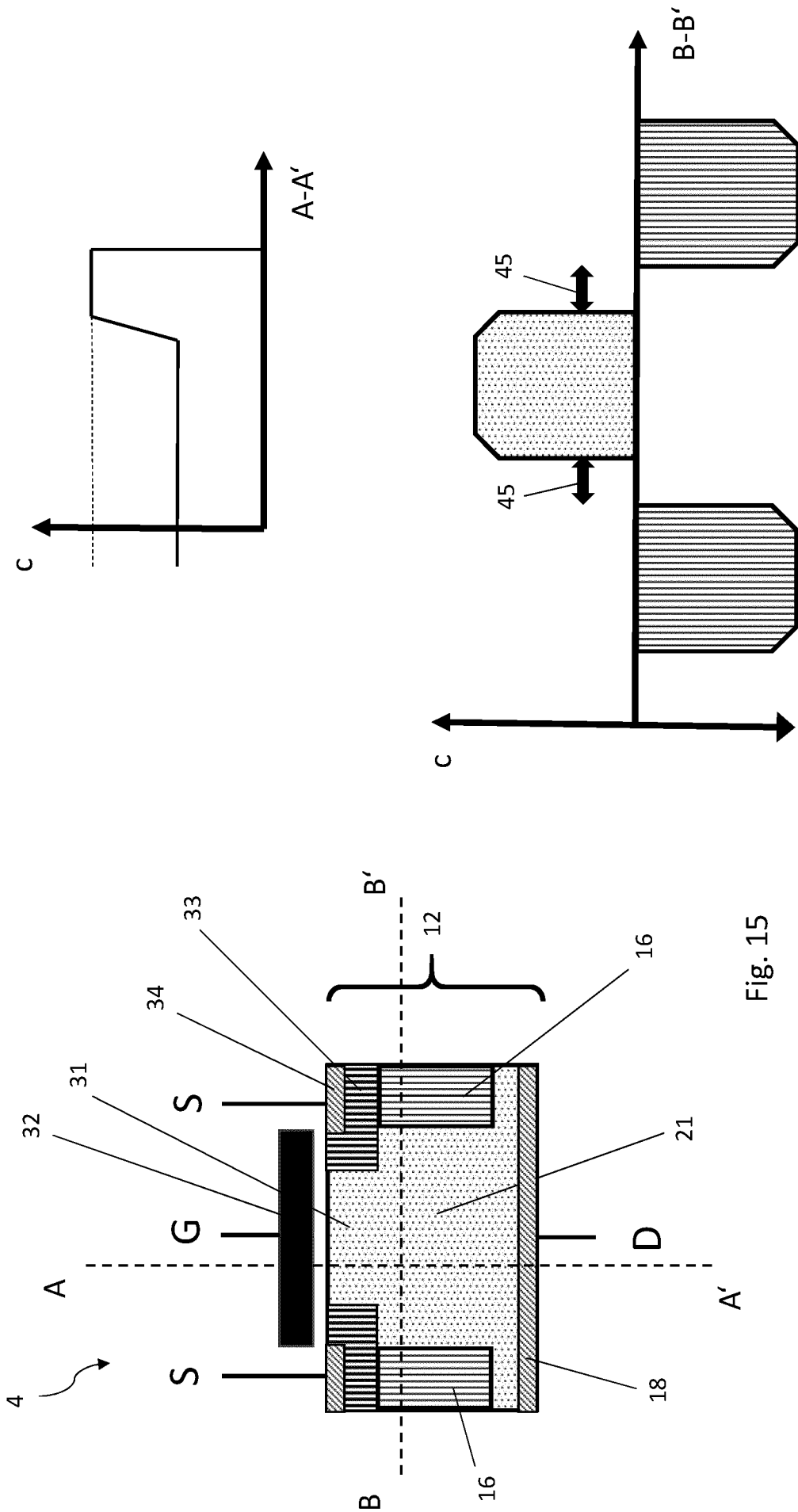


Fig. 15

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/063556

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>H01L 29/08</i> (2006.01)i; <i>H01J 37/317</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/04</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/266</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/36</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/78</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/06</i> (2006.01)i; <i>H01L 21/336</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L; H01J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ROLAND RUPP ET AL. "Alternative Highly Homogenous Drift Layer Doping for 650 V SiC Devices" <i>MATERIALS SCIENCE FORUM</i> , Vol. 858, 24 May 2016 (2016-05-24), pages 531-534 DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.858.531 XP055718647	1-7,13,24
Y	the whole document	14-23
A		8-12
Y	DE 10239312 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 25 March 2004 (2004-03-25) paragraphs [0051] - [0053]; figures 9-11	14-17
Y	US 2019051488 A1 (SCHUSTEREDER WERNER [AT] ET AL) 14 February 2019 (2019-02-14) paragraphs [0076] - [0080], [0094] - [0103], [0114] - [0155]; figures 5,8,11-16	18-23
X	US 2007108558 A1 (NEMOTO MICHIO [JP]) 17 May 2007 (2007-05-17) paragraphs [0071], [0110] - [0125]; figures 17-21	25-31
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>09 October 2020</b>		Date of mailing of the international search report <b>20 October 2020</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Götz, Andreas</b> Telephone No.

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-24

Method for producing a drift zone using an energy filter.

2. claims: 25-31

Semiconductor component having a dopant profile with sink or elevation.

1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/EP2020/063556**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	10239312	A1	25 March 2004	NONE			
US	2019051488	A1	14 February 2019	CN	109390224	A	26 February 2019
				DE	102017117999	A1	14 February 2019
				JP	2019046793	A	22 March 2019
				US	2019051488	A1	14 February 2019
US	2007108558	A1	17 May 2007	US	2007108558	A1	17 May 2007
				US	2010203710	A1	12 August 2010

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
INV.	H01L29/08 H01L29/78	H01J37/317 H01L29/06
	H01L21/04 H01L21/336	H01L21/266 H01L29/36
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) H01L H01J		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ROLAND RUPP ET AL: "Alternative Highly Homogenous Drift Layer Doping for 650 V SiC Devices", MATERIALS SCIENCE FORUM, Bd. 858, 24. Mai 2016 (2016-05-24), Seiten 531-534, XP055718647, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.858.531	1-7,13, 24
Y	das ganze Dokument	14-23
A		8-12
Y	----- DE 102 39 312 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 25. März 2004 (2004-03-25) Absätze [0051] - [0053]; Abbildungen 9-11 ----- -/--	14-17
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
9. Oktober 2020		20/10/2020
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Götz, Andreas

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2019/051488 A1 (SCHUSTEREDER WERNER [AT] ET AL) 14. Februar 2019 (2019-02-14) Absätze [0076] - [0080], [0094] - [0103], [0114] - [0155]; Abbildungen 5,8,11-16 -----	18-23
X	US 2007/108558 A1 (NEMOTO MICHIO [JP]) 17. Mai 2007 (2007-05-17) Absätze [0071], [0110] - [0125]; Abbildungen 17-21 -----	25-31

**Feld Nr. II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)**

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein internationaler Recherchenbericht erstellt:

1.  Ansprüche Nr.  
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche diese Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
  
2.  Ansprüche Nr.  
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, dass eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
  
3.  Ansprüche Nr.  
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefasst sind.

**Feld Nr. III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)**

Diese Internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1.  Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
  
2.  Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung solcher Gebühren aufgefordert.
  
3.  Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
  
4.  Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Dieser internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfasst:

**Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs**

- Der Anmelder hat die zusätzlichen Recherchegebühren unter Widerspruch entrichtet und die gegebenenfalls erforderliche Widerspruchsgebühr gezahlt.
- Die zusätzlichen Recherchegebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt, jedoch wurde die entsprechende Widerspruchsgebühr nicht innerhalb der in der Aufforderung angegebenen Frist entrichtet.
- Die Zahlung der zusätzlichen Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

## WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

## 1. Ansprüche: 1-24

Verfahren zum Erzeugen einer Driftzone unter Verwendung eines Energiefilters

---

## 2. Ansprüche: 25-31

Halbleiterbauelement mit Dotierprofil mit Senke oder Erhebung

---

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/063556

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10239312	A1	25-03-2004	KEINE
-----			
US 2019051488	A1	14-02-2019	CN 109390224 A 26-02-2019
			DE 102017117999 A1 14-02-2019
			JP 2019046793 A 22-03-2019
			US 2019051488 A1 14-02-2019
-----			
US 2007108558	A1	17-05-2007	US 2007108558 A1 17-05-2007
			US 2010203710 A1 12-08-2010
-----			