



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 16 531 A1** 2004.07.08

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 16 531.2**
(22) Anmeldetag: **10.04.2003**
(43) Offenlegungstag: **08.07.2004**

(51) Int Cl.7: **H01L 29/732**

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

(71) Anmelder:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

(74) Vertreter:
**PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,
80801 München**

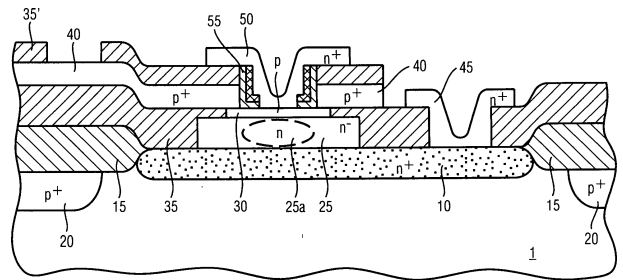
(72) Erfinder:
**Schäfer, Herbert, 85635
Höhenkirchen-Siegertsbrunn, DE; Böck, Josef,
81827 München, DE; Meister, Thomas, 82024
Taufkirchen, DE; Stengl, Reinhard, 86391
Stadtbergen, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Bipolar-Transistor**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung schafft einen Bipolar-Transistor mit einem Kollektorbereich (25, 25a) eines ersten Leitungstyps (n); einem Subkollektorbereich (10; 10a, 10b) des ersten Leitungstyps (n^+), welcher an einer ersten Seite des Kollektorbereichs (25, 25a) elektrisch an den Kollektorbereich (25, 25a) angeschlossen ist; einem Basisbereich (30) des zweiten Leitungstyps (p), der an einer zweiten Seite des Kollektorbereichs (25, 25a) vorgesehen ist; einem Emitterbereich (50) des ersten Leitungstyps (n^+), der auf der vom Kollektorbereich (25, 25a) abgelegenen Seite über dem Basisbereich (30) vorgesehen ist; und einem kohlenstoffdotierten Halbleiterbereich (10; 10a; 24, 24a), der auf der ersten Seite neben dem Kollektorbereich (25, 25a) vorgesehen ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Bipolar-Transistor.

[0002] Obwohl prinzipiell auf beliebige Bipolar-Transistoren anwendbar, werden die vorliegende Erfindung und die ihr zugrundeliegende Problematik in Bezug auf DPSA-Transistoren erläutert.

Stand der Technik

[0003] DPSA(selbstjustierte Doppel-Polysilizium)-Transistoren sind z.B. aus T.F. Meister et al., IEDM Technical Digest 1995, p.739-741 bekannt.

[0004] Ihr Name rührt daher, dass sie als p⁺-Basisanschluss sowie als n⁺-Emitterkontakt zwei eigens hierfür abgeschiedene p⁺-Polysilizium- bzw. n⁺-Polysiliziumschichten verwenden. Dabei ist im Emitterfenster die n⁺-Polysilizium-Emitterschicht selbstjustiert durch einen Spacer von der p⁺-Polysiliziumschicht des Basisanschlusses isoliert. Der DPSA-Transistor kann sowohl eine implantierte Si-Basis als auch eine epitaktisch abgeschiedene Si-Ge-Basis enthalten. Der Kollektor ist üblicherweise über eine im Substrat vergrabene Buried Layer (auch als Subkollektor bezeichnet) angeschlossen. Aufgrund ihrer lateralen und vertikalen Skalierbarkeit und den geringen parasitären Kapazitäts- und Widerstandsanteilen ist die DPSA-Transistorstruktur für Höchstgeschwindigkeitsanwendungen am besten geeignet.

[0005] Um Bipolar-Transistoren für immer höhere Frequenzen tauglich zu machen, müssen parasitäre Kapazitäten und Widerstände verringert und Ladungsträger-Laufzeiten reduziert werden. Kurze Laufzeiten erreicht man bei vertikal aufgebauten Bipolar-Transistoren durch sehr dünne Schichten von Emitter, Basis und Kollektor.

[0006] Entscheidend ist also eine möglichst geringe Diffusion der Dotierstoffe, denn die Schichtdicke der Bor dotierten Basis beim npn-Transistor kann nur so klein gewählt werden, dass eine Ausdiffusion des Bors in Nachbarschichten noch keine Nachteile bringt. Dies ist ein Kernproblem beim npn-Bipolar-Transistor, weil Bor neben der normalen Diffusion auch noch eine durch Zwischengitteratome induzierte beschleunigte Diffusion zeigt.

[0007] Ähnliche Probleme treten bei einem Phosphor dotierten Kollektor auf, denn auch Phosphor weist eine beschleunigte Diffusion durch Zwischengitteratome auf, was zur Folge hat, dass ein im Kollektor vorhandenes Dotierungsprofil in nicht beabsichtigter Weise verändert werden kann.

[0008] Es ist bekannt, dass Zwischengitteratome z.B. durch Oxidation und Implantation entstehen. Insbesondere stellt aber auch die Deaktivierung von Arsen in hochdotierten Schichten (Konzentration von typischerweise 10²⁰cm⁻³), wie z.B. in einer vergrabenen Subkollektorschicht im Bipolar-Transistor, eine Quelle für Zwischengitteratome dar. Siehe dazu P.M.

Rouseau et al., Appl. Phys. Lett. 65 (5), 1995, „Electrical deactivation of arsenic as a source of point defects“. Da Zwischengitteratome in Silizium hochbeweglich sind, können auch entferntere Quellen eine beschleunigte Bor- oder Phosphordiffusion induzieren und damit ein weiteres Verkleinern der Transistorgeometrie unmöglich machen. Auch ist somit eine Reduzierung des Schichtwiderstandes der vergrabenen Subkollektorschicht durch eine höhere Arsendotierung wegen der Zunahme der störenden Zwischengitteratome nicht sinnvoll.

[0009] Die Reduzierung der Konzentration der Zwischengitteratome ist für die weitere Verbesserung der Hochfrequenzeigenschaften von Bipolar-Transistoren also von entscheidender Bedeutung.

[0010] Prinzipiell kann die Konzentration der Zwischengitteratome auf zwei Wegen reduziert werden. Einerseits kann das Entstehen von Zwischengitteratomen durch entsprechende Prozessführung verhindert werden, und andererseits können entstandene Zwischengitteratome wieder vernichtet werden.

[0011] Das Vernichten entstandener Zwischengitteratome erfolgt beispielsweise durch den Einsatz von mit Kohlenstoff-dotierten Siliziumschichten, welche als Senke für Zwischengitteratome dienen. Dieses Prinzip wird beispielsweise in dem SiGe:C Hetero-Bipolar-Transistor mit Erfolg angewendet, wie z.B. beschrieben in A. Gruhle et al., Appl. Phys. Lett. 75(5), 1999, „The reduction of base dopant outdiffusion in SiGe heterojunction bipolar transistors by carbon doping“.

[0012] Eine derartige Kohlenstoffdotierung kann dabei üblicherweise in der Basis und/oder im Emitter und/oder im Kollektor angewendet, wie in der WO 98/26457 bzw. der US-2002/0,121,676 A1 offenbart.

[0013] Nachteilig bei der bekannten Vorgehensweise ist es, dass der Schutz vor beschleunigter Diffusion nicht vollständig möglich ist und eine Erhöhung der Wirksamkeit durch höhere Kohlenstoffkonzentrationen zwar möglich ist, aber eine Degradation der Transistor-Kennlinien und reduzierte Ladungsträger-Beweglichkeiten mit sich bringt.

[0014] Insbesondere ist es nicht möglich, dass Entstehen von Zwischengitteratomen aus einem mit Arsen hochdotierten vergrabenen Subkollektorbereich zu vermeiden, weil in dem entsprechenden Temperaturbereich zwischen 500° C und 900° C viele unverzichtbare Prozessschritte stattfinden.

[0015] Als einziger Ausweg blieb bisher also nur eine Verringerung der Arsenkonzentration im vergrabenen Subkollektorbereich, was als Nachteil mit sich bringt, dass der Schichtwiderstand des Subkollektorbereichs vergrößert und dementsprechend die Hochfrequenztauglichkeit des Transistors verschlechtert ist.

Aufgabenstellung

[0016] Aufgabe der Erfindung ist es, einen verbesserten Bipolar-Transistor anzugeben, wobei eine

seitliche Ausdiffusion des Kollektorprofils, z.B. Phosphor, und eine vertikale Ausdiffusion des Basisprofils, z.B. Bor, vermieden werden kann und der gute elektrische Eigenschaften aufweist.

[0017] Diese Aufgabe wird durch einen Bipolar-Transistor nach Anspruch 1 gelöst.

[0018] Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Idee besteht darin, dass die Zwischengitteratome unmittelbar an ihrer Quelle vernichtet werden, indem entweder eine zusätzliche Kohlenstoff-dotierte Siliziumschicht zwischen Subkollektor und Kollektor eingefügt wird oder der Subkollektor selbst mit Kohlenstoff dotiert wird. So lässt sich quasi eine Barriere vorzugsweise im gesamten Verbindungsquerschnitt bilden.

[0019] Diese Maßnahme zur Vernichtung der Zwischengitteratome in unmittelbarer Nähe ihres Entstehungsortes kann zusätzlich zu den schon beschriebenen Kohlenstoff-dotierten Schichten für Kollektor, Emitter und Basis erfolgen und den Schutz vor Zwischengitteratomen weiter verbessern.

[0020] Ein nachteiliger Effekt auf die Transistor-kennlinie ist nicht zu erwarten, da die zusätzliche Kohlenstoff-dotierte Schicht außerhalb der Raumladungszone zwischen Kollektor und Basis liegt. Dadurch kann die Arsenkonzentration im Subkollektorbereich weiter erhöht werden und sein Schichtwiderstand erniedrigt werden, ohne dass Nachteile durch beschleunigte Diffusion von Dotierstoffen im Transistor hingenommen werden müssen.

[0021] Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0022] Gemäss einer bevorzugten Weiterbildung ist der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich der gesamte Subkollektorbereich.

[0023] Gemäss einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich ein an den Kollektorbereich direkt oder indirekt angrenzender Teilbereich des Subkollektorbereich.

[0024] Gemäss einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich eine zusätzliche Verbindungsschicht zwischen dem Kollektorbereich und dem Subkollektorbereich.

[0025] Gemäss einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich eine Kohlenstoffkonzentration von $10^{19} - 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ auf.

[0026] Gemäss einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist der Basisbereich einen geringeren Querschnitt als der Kollektorbereich auf, wobei der Kollektorbereich im Überlappungsbereich mit dem Basisbereich einen Bereich aufweist, der eine gegen über dem Restbereich erhöhte Dotierung aufweist.

[0027] Gemäss einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist der erste Leitungstyp der n-Typ und der zweite Leitungstyp der p-Typ, wobei der Subkollektorbereich Arsen-dotiert ist.

[0028] Gemäss einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist der Kollektorbereich Phosphor-dotiert.

[0029] Gemäss einer weiteren bevorzugten Weiter-

bildung ist mindestens einer vom Kollektorbereich, Basisbereich und Emitterbereich kohlenstoffdotiert.

Ausführungsbeispiel

[0030] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

[0031] Es zeigen:

[0032] **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer ersten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors;

[0033] **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer zweiten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors;

[0034] **Fig. 3** eine schematische Darstellung einer dritten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors; und

[0035] **Fig. 4** eine schematische Darstellung einer vierten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors.

[0036] In den Figuren gleiche Bezugszeichen bezeichnen gleiche oder gleich wirkende Elemente.

[0037] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer ersten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors.

[0038] In **Fig. 1** bezeichnet Bezugszeichen **1** ein Silizium-Halbleitersubstrat, **10** einen Arsen-dotierten n^+ -Subkollektorbereich in Form einer im Substrat **1** vergrabenen Schicht, **20** Bordotierte p^+ -Kanalsperrbereiche, **25** einen Phosphor-dotierten n -Kollektorbereich, **25a** einen Phosphor-dotierten n -Kollektorbereich, **30** einen Bor-dotierten p -Basisbereich, **35** sowie **35** eine jeweilige CVD-Isolationsoxidschicht, **15** eine LOCOS-Isolationsoxidschicht, **40** einen p^+ -Basisanschlussbereich, **45** einen n^+ -Kollektorkontakt, **55** einen Doppel-Spacer aus Siliziumoxid/Siliziumnitrid, und **50** einen Phosphordotierten n^+ -Emitterbereich.

[0039] Der n -Kollektorbereich **25a** ist durch eine selbstjustierte Implantation von Phosphor durch das Emitterfenster gegenüber dem umgebenden n -Kollektorbereich **25** aufdotiert und weist dort ein näherungsweise elliptisches Dotierungsprofil (gestrichelte Linie) auf.

[0040] Der n^+ -Subkollektorbereich **10** ist vollständig mit Kohlenstoff (C) auf dotiert, wobei typische Werte der C-Konzentration im Bereich $10^{19} - 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ liegen. Die Aufdotierung erfolgt hier vorzugsweise durch eine Implantation.

[0041] Die unerwünschte Ausdiffusion des n -Kollektorbereichs **25a** in den n -Kollektorbereich **25**, die zu einer lateralen Verbreiterung des aufdotierten Kollektorbereichs **25a** und damit zu einer erhöhten Basis-Kollektor-Kapazität führen würde, lässt sich durch den n^+ -Subkollektorbereich **10**, der vollständig mit Kohlenstoff (C) aufdotiert ist, wirkungsvoll verhindern. Ebenso wird eine vertikale Ausdiffusion des Basisprofils verhindert, was zu einer Verbreiterung der Basis und damit zu längeren Laufzeiten der Ladungsträger führen würde.

[0042] **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung einer zweiten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors.

[0043] Bei dieser zweiten Ausführungsform ist im Unterschied zur obigen ersten Ausführungsform der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich nur ein an den Kollektorbereich **25, 25a** angrenzender Teilbereich **10a** des Subkollektorbereich **10a, 10b**. Die Aufdotierung erfolgt auch hier vorzugsweise durch eine Implantation.

[0044] Der erreichte Effekt ist jedoch gleich wie bei der ersten Ausführungsform.

[0045] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung einer dritten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors.

[0046] Bei dieser dritten Ausführungsform ist im Unterschied zur obigen ersten und zweiten Ausführungsform der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich **24** eine zusätzliche Verbindungsschicht zwischen dem Kollektorbereich **25, 25a** und dem Subkollektorbereich **10**. Die Aufdotierung kann hier durch eine Implantation nach der Abscheidung der Schicht **24** erfolgen oder in situ während der Abscheidung.

[0047] Der erreichte Effekt ist jedoch gleich wie bei der ersten und zweiten Ausführungsform.

[0048] **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung einer vierten erfindungsgemässen Ausführungsform eines Bipolar-Transistors.

[0049] Bei dieser vierten Ausführungsform ist im Unterschied zur obigen dritten Ausführungsform der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich **24a** nicht nur an der Schnittstelle zum Kollektorbereich **25, 25a** vorgesehen, sondern erstreckt sich über den gesamten Subkollektorbereich **10** mit Ausnahme des Kollektorkontakts **45**. Die Aufdotierung kann auch hier durch eine Implantation nach der Abscheidung der Schicht **24a** erfolgen oder in situ während der Abscheidung.

[0050] Der erreichte Effekt ist jedoch gleich wie bei der ersten, zweiten und dritten Ausführungsform.

[0051] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben erläuterten Ausführungsformen beschränkt, sondern in gleicher Weise bei Homo- und Hetero-Bipolar-Transistoren (insbesondere bei SiGe HBT), bei Trenchisolationen, bei Innen- oder Außen-spacer-Konzepten usw. anwendbar. Die Schichtdicke der Kohlenstoff-dotierten Schicht kann zwischen 20 nm bei einer dünnen zusätzlichen Verbindungsschicht und bei ca. 1.000 nm bei einem durchgehend dotierten Subkollektorbereich variieren.

Bezugszeichenliste

1	Silizium-Halbleitersubstrat
10,10b	n ⁺ -Subkollektorbereich
20	p ⁺ -Kanalsperrbereiche
10a,24,24a	Kohlenstoff-dotierter Siliziumbereich
25	n-Kollektorbereich
25a	n-Kollektorbereich
30	p-Basisbereich
35,35'	CVD-Isolationsoxidschichten
15	LOCOS-Isolationsoxidschicht
40	p ⁺ -Basisanschlussbereich
45	n ⁺ -Kollektorkontakt
55	Doppel-Spacer aus Siliziumoxid/Siliziumnitrid
50	n ⁺ -Emitterbereich

Patentansprüche

1. Bipolar-Transistor mit:
 einem Kollektorbereich (**25, 25a**) eines ersten Leitungstyps (n);
 einem Subkollektorbereich (**10; 10a, 10b**) des ersten Leitungstyps (n⁺), welcher an einer ersten Seite des Kollektorbereichs (**25, 25a**) elektisch an den Kollektorbereich (**25, 25a**) angeschlossen ist;
 einem Basisbereich (**30**) des zweiten Leitungstyps (p), der an einer zweiten Seite des Kollektorbereichs (**25, 25a**) vorgesehen ist;
 einem Emitterbereich (**50**) des ersten Leitungstyps (n⁺), der auf der vom Kollektorbereich (**25, 25a**) abgelegenen Seite über dem Basisbereich (**30**) vorgesehen ist; und
 einem kohlenstoffdotierten Halbleiterbereich (**10; 10a; 24, 24a**), der auf der ersten Seite neben dem Kollektorbereich (**25, 25a**) vorgesehen ist.

2. Bipolar-Transistor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich (**10; 10a; 24, 24a**) der gesamte Subkollektorbereich (**10**) ist.

3. Bipolar-Transistor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich (**10; 10a; 24, 24a**) ein an den Kollektorbereich (**25, 25a**) direkt oder indirekt angrenzender Teilbereich (**10a**) des Subkollektorbereichs (**10a; 10b**) ist.

4. Bipolar-Transistor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich (**10; 10a; 24, 24a**) eine zusätzliche Verbindungsschicht (**24, 24a**) zwischen dem Kollektorbereich (**25, 25a**) und dem Subkollektorbereich (**10**) ist.

5. Bipolar-Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der kohlenstoffdotierte Halbleiterbereich (**10; 10a; 24, 24a**) eine Kohlenstoffkonzentration von 10¹⁹ – 10²¹ cm⁻³ aufweist.

6. Bipolar-Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Basisbereich (**30**) einen geringeren Querschnitt als der Kollektorbereich (**25**, **25a**) aufweist und der Kollektorbereich im Überlappungsbereich mit dem Basisbereich (**30**) einen Bereich (**25a**) aufweist, der eine gegen über dem Restbereich (**25**) erhöhte Dotierung aufweist.

7. Bipolar-Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Leitungstyp (n) der n-Typ ist und der zweite Leitungstyp (p) der p-Typ und der Subkollektorbereich (**10**; **10a**, **10b**) Arsen-dotiert ist.

8. Bipolar-Transistor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Kollektorbereich (**25**, **25a**) Phosphor-dotiert ist.

9. Bipolar-Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer vom Kollektorbereich (**25**, **25a**), Basisbereich (**30**) und Emitterbereich (**50**) kohlenstoff-dotiert ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG 1

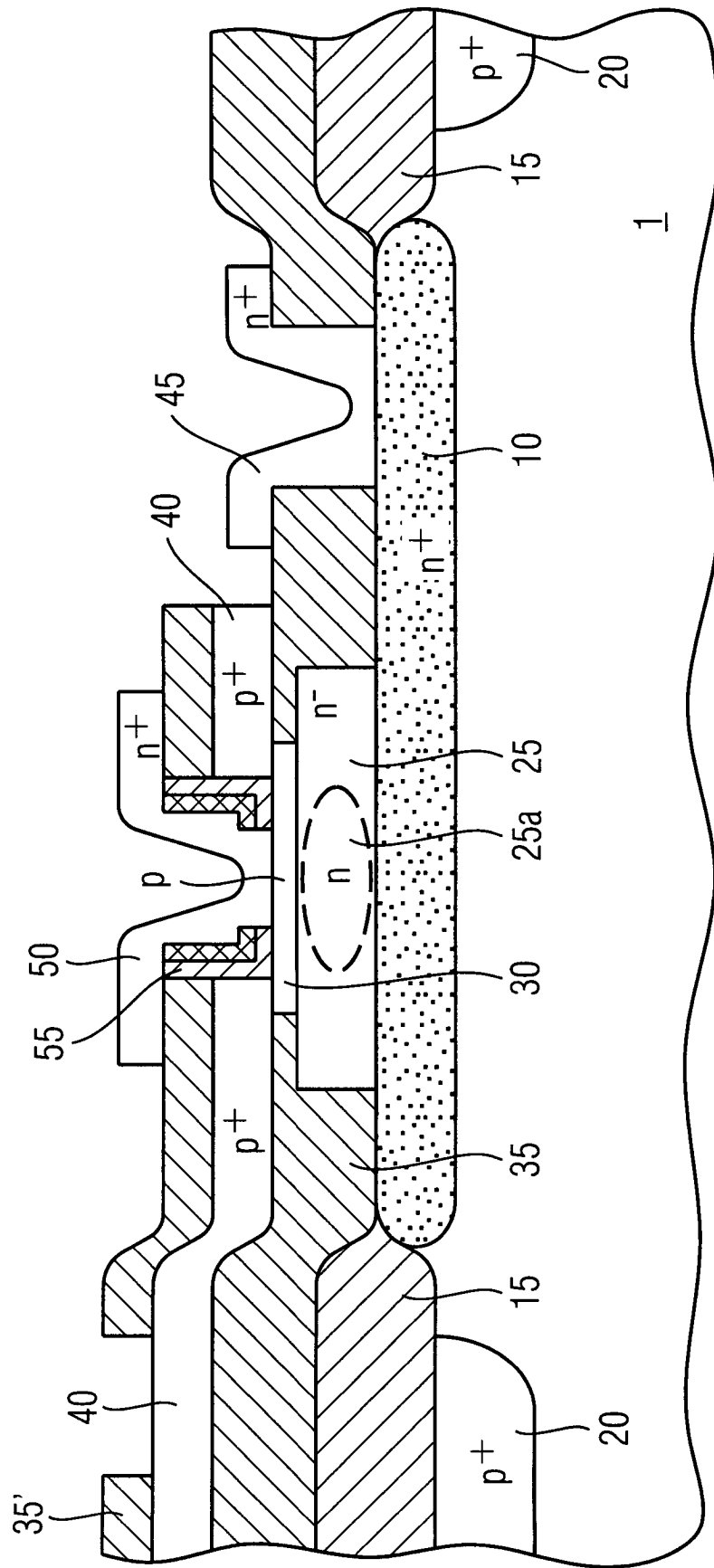


FIG 2

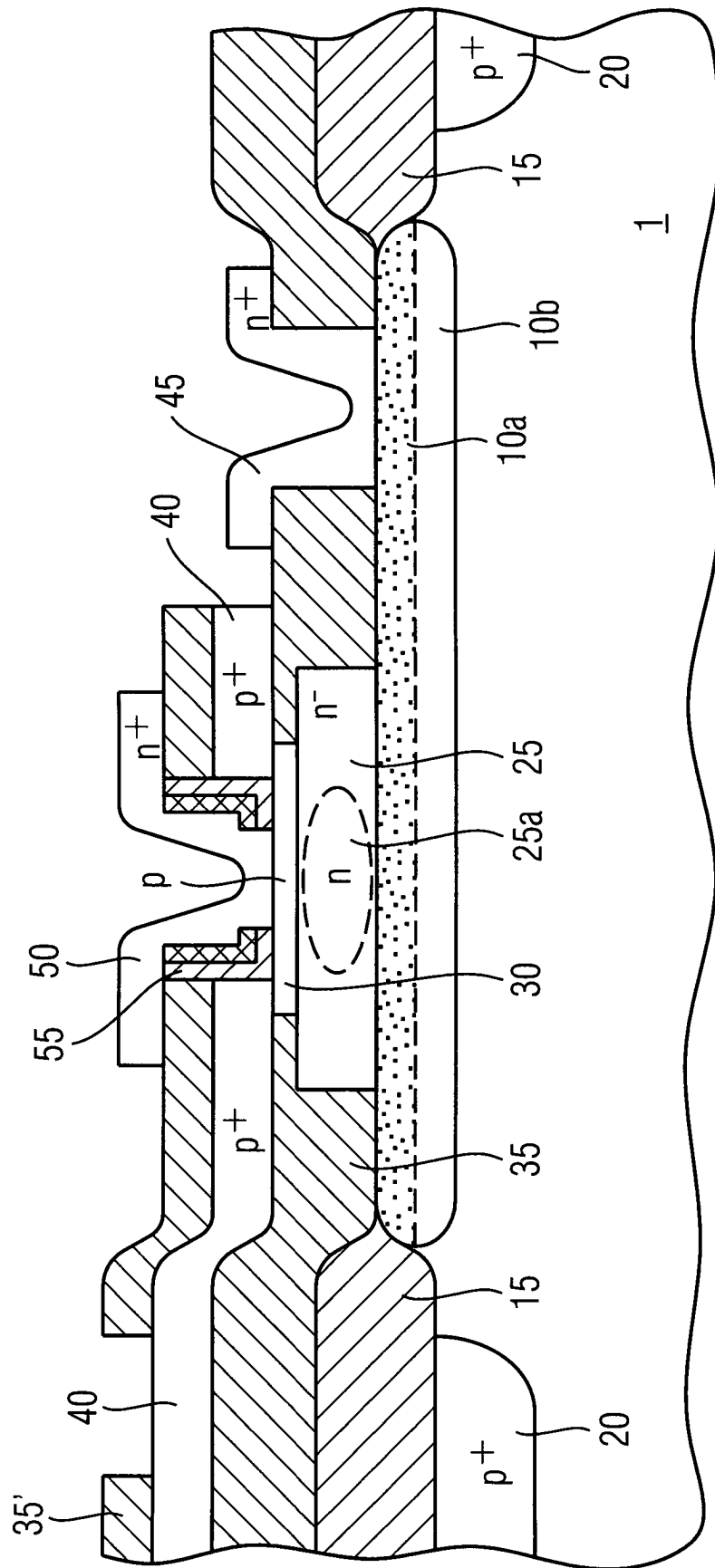


FIG 3

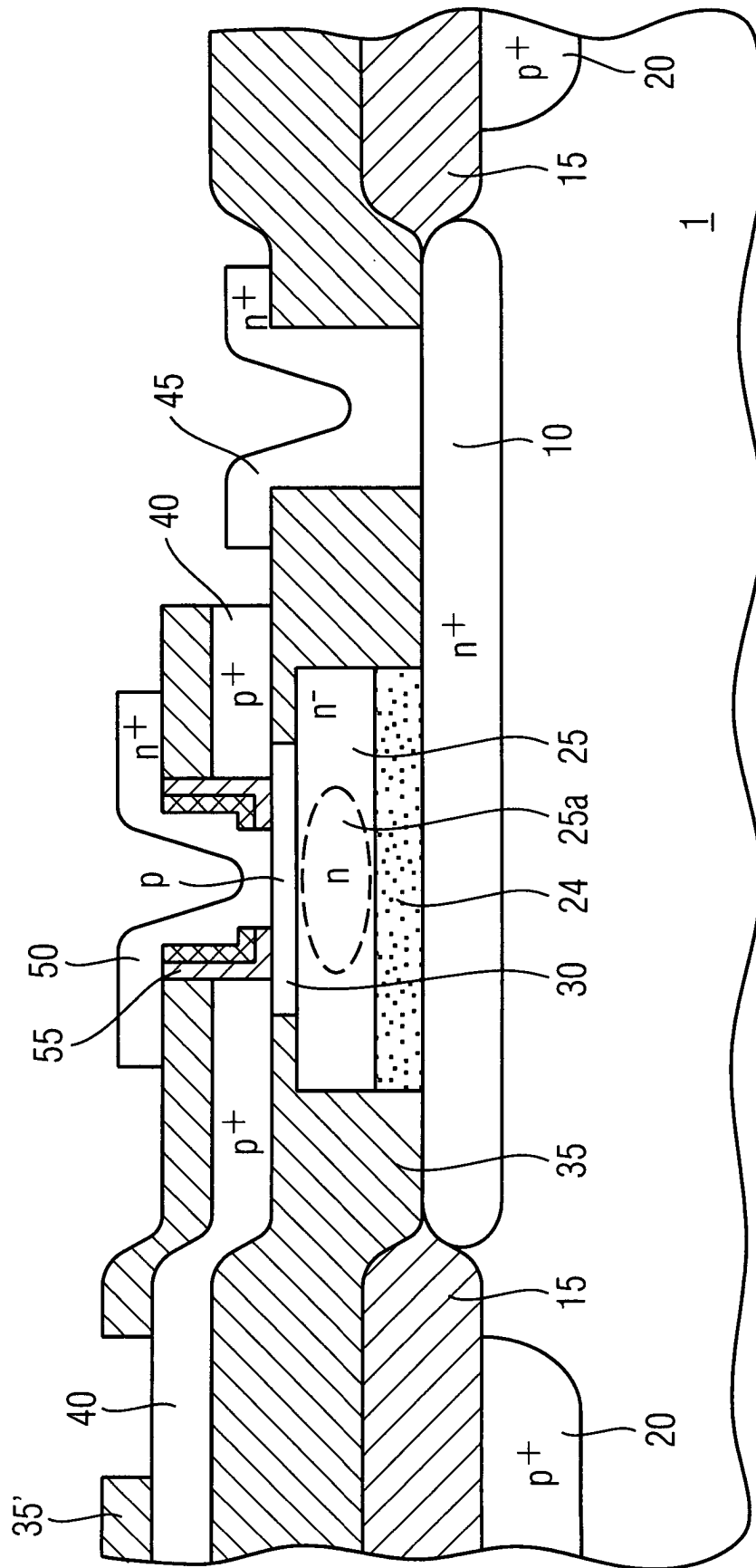


FIG 4

