



(12) Patentskrift

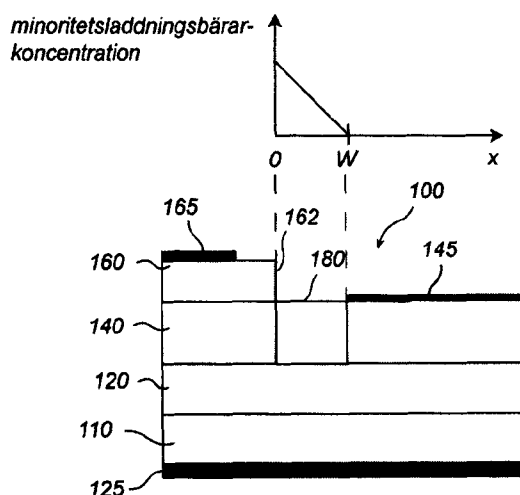
(10) SE 535 157 C2

(21) Patentansökningsnummer: 1050789-5
 (45) Patent meddelat: 2012-05-02
 (41) Ansökan allmänt tillgänglig: 2012-01-15
 (22) Patentansökan inkom: 2010-07-14
 (24) Löpdag: 2010-07-14
 (83) Deposition av mikroorganism: —
 (30) Prioritetsuppgifter: —

(51) Internationell klass:
H01L 29/732 (2006.01)
H01L 21/04 (2006.01)
H01L 29/10 (2006.01)
H01L 29/24 (2006.01)

- (73) Patenthavare: Fairchild Semiconductor Corporation, 3030 Orchard Parkway, San Jose, California 95134 US
 (72) Uppfinnare: Martin Domeij, Kista SE
 Benedetto Buono, Kista SE
 (74) Ombud: AWAPATENT AB, Box 45086, 104 30 Stockholm SE
 (54) Benämning: Konduktivitetsmodulering i en bipolär transistor i kiselkarbid
 (56) Anförda publikationer: WO 2010024240 A1 • XP 011238117 • XP 031461969 • EP 1806787 A1 • XP 006022757
 (47) Sammandrag:

Föreliggande uppfinning avser ett förfarande för tillverkning av en bipolär transistor (BJT) i kiselkarbid (SiC) och en BJT i SiC. BJT:n (100) i SiC innefattar ett kollektorområde (120), ett basområde (140) och ett emitterområde (160). Förfarandet enligt föreliggande uppfinning innefattar steget att tillhandahålla ett mellanområde (180) av halvledarmaterial, vilket mellanområde är anordnat mellan bas-emitterövergången och en kontaktzon för elektrisk kontakt till basområdet, varvid bas-emitterövergången utgörs av basområdet (120) och emitterområdet (160). Graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet (120) bestäms genom justering av minst en parameter hos mellanområdet (180), vilken parameter påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet (180).



SAMMANDRAG

Föreliggande uppfinning avser ett förfarande för tillverkning av en bipolär transistor (BJT) i kiselkarbid (SiC) och en BJT i SiC. BJT:n (100) i SiC innefattar ett kollektorområde (120), ett basområde (140) och ett emitterområde (160). Förfarandet enligt föreliggande uppfinning innefattar steget att tillhandahålla ett mellanområde (180) av halvledarmaterial, vilket mellanområde är anordnat mellan bas-emitterövergången och en kontaktzon för elektrisk kontakt till basområdet, varvid bas-emitterövergången utgörs av basområdet (120) och emitterområdet (160). Graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet (120) bestäms genom justering av minst en parameter hos mellanområdet (180), vilken parameter påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet (180).

15

Figur vald för publicering: figur 1

KONDUKTIVITETSMODULERING I EN BIPOLÄR TRANSISTOR I
KISELKARBID

Tekniskt område

- Föreliggande uppfinning avser det tekniska området
högkraftskomponenter i halvledarmaterial såsom bipolära transistorer i
kiselkarbid. Föreliggande uppfinning avser i synnerhet tillverkningen och/eller
5 konstruktionen av sådana komponenter med en kontrollerbar grad av
konduktivitetsmodulering.

Teknisk bakgrund

- Kraftkomponenter i halvledarmaterial konstrueras och tillverkas
vanligtvis så att de har så låga effektförluster som möjligt under framspänning
10 och switchtillämpningar (växeltillämpningar). Effektförlusterna vid
framspänning är normalt direkt proportionella mot det så kallade
framspänningsfallet, vilket är den spänning som måste tillföras över
kraftkomponenten, i synnerhet ett blockeringskikt (som förklaras nedan) hos
kraftkomponenten, för att leda en viss ström. Det är i allmänhet önskvärt att
15 minska framspänningsfallet hos en kraftkomponent i halvledarmaterial för att
minska effektförluster.

- Kraftkomponenter i halvledarmaterial har vanligtvis ett relativt tjockt
och lågt dopat område som kallas blockeringskikt eller även
högspänningsblockeringskikt. Blockeringskiktets tjocklek och
20 dopningskoncentration bestämmer komponentens genombrottsspänning,
varvid en ökning av tjockleken och/eller en minskning av
dopningskoncentrationen ökar den resulterande genombrottsspänningen.
Högspänningsblockeringskiktet bidrar väsentligt till framspänningsfallet och
därigenom effektförlusten i kraftkomponentens aktiva tillstånd (d.v.s.
25 framspänning).

- I en kraftkomponent i kisel (Si) kan framspänningsfallet minskas
genom konduktivitetsmodulering, varvid elektroner och hål (negativa
respektive positiva laddningsbärare) injiceras in i ett
högspänningsblockeringskikt hos komponenten och den resulterande
30 bärarplasman som har bildats av de injicerade elektronerna och hålen
minskar framspänningsfallet.

En kraftkomponent i kiselkarbid (SiC) kan, tack vare den höga kritiska fältstyrkan hos SiC, ha en relativt hög dopningskoncentration och därigenom en relativt låg resistivitet i sitt högspänningsblockeringsskikt. Således fungerar många kraftkomponenter i SiC utan konduktivitetsmodulering och de har

5 fortfarande ganska låga effektförluster. I synnerhet är bipolära transistorer (BJT:er) i SiC användbara som switchtransistorer. En BJT innefattar en kollektor, en bas och en emitter varvid kollektorn och emittern vanligtvis är gjorda av ett första slags halvledarmaterial, till exempel n-typ, och basen är gjord av ett annat slags halvledarmaterial, i föreliggande exempel p-typ. I

10 allmänhet är ett av godhetstalen hos en BJT i SiC dess låga framspänningsfall som här kallas kollektor-emittermättnadsspänningen " V_{CESAT} ".

För högförstärkning där spänningar större än 3 kV krävs och även för andra tillämpningar där, till exempel, en drifttemperatur på minst

15 200°C och spänningar större än 1 kV krävs, skulle konduktivitetsmodulering i SiC-komponenter emellertid vara fördelaktig för minskning av effektförluster.

På grund av den bipolära karakteristiken hos en BJT i SiC kan konduktivitetsmodulering uppnås i kollektorområdet av en bärarplasma bestående av elektroner och hål injicerade från emitter- och basområdena.

20 Som följd minskas kollektorområdets serieresistans, vilket därigenom minskar framspänningsfallet V_{CESAT} . Konduktivitetsmodulering medför emellertid också nackdelen att switchegenskaperna hos BJT:n i SiC blir långsammare på grund av tiden som krävs för bildande och avlägsnande av bärarplasman under switch.

25 Följaktligen finns ett behov av att tillhandahålla förfaranden och komponenter som skulle möjliggöra konstruktion av BJT:er i SiC och samtidigt avhjälpa åtminstone några av ovan nämnda nackdelar.

Sammanfattning av uppfinningen

Det är med hänsyn till ovanstående beaktningar som föreliggande

30 uppfinning har gjorts.

Vidare har uppfinnaren insett att de flesta tillämpningar för BJT:er i SiC kräver en kompromiss mellan effektförluster vid framspänning och switch och således att graden av konduktivitetsmodulering i en BJT i SiC med fördel skulle kunna kontrolleras.

35 Ett ändamål med föreliggande uppfinning är därför att tillhandahålla ett förfarande och en komponent där graden av konduktivitetsmodulering i en BJT i SiC kan kontrolleras.

Närmre bestämt är ett ändamål med föreliggande uppfinning att tillhandahålla en BJT i SiC och ett förfarande för tillverkning av en sådan BJT i SiC så att effektförluster vid framspänning och switch minskas.

5 Detta och andra ändamål med föreliggande uppfinning uppnås med ett förfarande och en komponent som har de särdrag som definieras i de självständiga kraven. Föredragna utföringsformer av uppfinningen kännetecknas av de osjälvständiga kraven.

Följaktligen åstadkommes enligt en första aspekt av föreliggande uppfinning, ett förfarande för tillverkning av en BJT i SiC. BJT:n i SiC
10 innefattar ett kollektorområde, ett basområde och ett emitterområde. Förfarandet innefattar steget att tillhandahålla ett mellanområde av halvledarmaterial, vilket mellanområde är anordnat mellan bas-emitterövergången och en kontaktzon för elektrisk kontakt till basområdet. Bas-emitterövergången utgörs av basområdet och emitterområdet. I detta
15 förfarande bestäms graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet genom justering av minst en parameter hos mellanområdet, vilken parameter påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet.

Enligt en andra aspekt av föreliggande uppfinning åstadkommes en BJT i SiC. BJT:n i SiC innefattar ett kollektorområde, ett basområde och ett
20 emitterområde. BJT:n i SiC innefattar vidare ett mellanområde av halvledarmaterial, vilket mellanområde är anordnat mellan bas-emitterövergången och en kontaktzon för elektrisk kontakt till basområdet. Bas-emitterövergången utgörs av basområdet och emitterområdet. I denna BJT konfigureras minst en parameter hos mellanområdet, vilken parameter
25 påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet, för att bestämma graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet.

Föreliggande uppfinning baseras på en insikt av att graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet hos en BJT i SiC kan bestämmas genom tillhandahållande av ett mellanområde av halvledarmaterial mellan
30 bas-emitterövergången och kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet (i det följande också kallat baskontakten) och genom justering av minst en parameter hos mellanområdet, vilken parameter påverkar diffusionen av minoritetsladdningsbärare från bas-emitterövergången till baskontakten. Den del hos basområdet vilken används för bildande av bas-emitterövergången,
35 d.v.s. den del hos basområdet vilken gränsar till emitterområdet (d.v.s. den del hos basområdet vilken är involverad i BJT:ns basfunktion (eller huvudfunktion)), kan hänvisas till som basområdets aktiva del eller intrinsisk del, varvid den resterande delen av basområdet hänvisas till som den passiva

delen eller den extrinsiska delen. I föreliggande uppfinning är mellanområdet anordnat i den passiva delen av basområdet, d.v.s. området mellan en kant hos bas-emitterövergången och en kant hos baskontakten.

- Enligt föreliggande uppfinning justeras eller anpassas minst en
- 5 parameter hos mellanområdet så att diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare från basområdets aktiva del till baskontakten kontrolleras, vilket därigenom bestämmer injektionen av bärare i kollektorområdet under framspänningstillstånd och således graden av
- 10 konduktivitetsmodulering i kollektorområdet. Med hänvisning till exempelvis en BJT av NPN-typ varvid kollektorområdet och emitterområdet är gjorda av SiC av n-typ och basområdet är gjort av SiC av p-typ, är mellanområdet anpassat att minska extraherande av elektroner från basområdets aktiva del till baskontakten, vilket därigenom ökar elektroninjektionen från emitterområdet till kollektorområdet och således ökar mängden
- 15 konduktivitetsmodulering i kollektorområdet, eller vice versa. Bärarrecombination vid baskontakten (t.ex. i den ohmska kontakten eller det ohmska skiktet som har anordnats under baskontakten) kan faktiskt vara så hög att koncentrationen av minoritetsladdningsbärare vid baskontaktgränsytan når sitt jämviktsvärde, vilket kan anses vara försumbart
- 20 (d.v.s. approximerat till noll) jämfört med minoritetsbärarkoncentrationen i mellanområdet. Graden av minoritetsbärarkoncentrationen i mellanområdet (längs en riktning från bas-emitterövergången till baskontakten) bestämmer extraktionen av minoritetsladdningsbärare från basområdets aktiva del till baskontakten och således för graden av konduktivitetsmodulering.
- 25 Diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet kan kontrolleras genom justering av fysikaliska parametrar hos mellanområdet.

- Föreliggande uppfinning är fördelaktig eftersom graden av konduktivitetsmodulering kan bestämmas (kontrolleras) i en BJT i SiC. I synnerhet är föreliggande uppfinning fördelaktig eftersom den åstadkommer
- 30 ett förfarande för tillverkning av en BJT i SiC med förbättrad konduktivitetsmodulering i kollektorområdet och därigenom ett minskat framspänningsfall V_{CESAT} under normala driftförhållanden.

- Vidare är föreliggande uppfinning fördelaktig eftersom den fastställer hur graden av konduktivitetsmodulering kan bestämmas i en BJT i SiC.
- 35 Närmare bestämt fastställer föreliggande uppfinning vilket område i konstruktionen av en BJT i SiC som bestämmer graden av konduktivitetsmodulering.

Vidare är föreliggande uppfinning fördelaktig eftersom den åstadkommer möjligheten att minska effektförlusterna vid framspänning vid höga kollektorströmmar. Föreliggande uppfinning kan vara särskilt användbar för reducering av effektförlust under (begränsade) perioder med
 5 överströmsförhållanden, vilket därigenom minskar (den maximala) komponenttemperaturen och förbättrar komponentens robusthet.

Vidare är föreliggande uppfinning fördelaktig eftersom den åstadkommer ett förfarande för tillverkning av en BJT i SiC och en BJT i SiC varvid en förbättrad kompromiss mellan effektförluster vid framspänning och
 10 switch åstadkommes. Närmare bestämt minskar effektförluster vid framspänning medan de som är vid switch ökar, och vice versa, om konduktivitetsmoduleringen i BJT:n ökar eftersom föreliggande uppfinning tillhandahåller en BJT i SiC med kontrollerbar grad av konduktivitetsmodulering.

15 Enligt en utföringsform kan en (fysikalisk) parameter hos mellanområdet, vilken parameter påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare, vara mellanområdets storlek, vilken storlek motsvarar avståndet mellan en kant hos bas-emitterövergången och en kant hos kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet. Föreliggande
 20 utföringsform är fördelaktig eftersom den fastställer vilken specifik parameter hos mellanområdet, vilken parameter kan bestämma graden av konduktivitetsmodulering i BJT:ns kollektorområde. I synnerhet har det insetts att minoritetsbärarkoncentrationens gradient i mellanområdet och således diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärarna är proportionell mot
 25 avståndet mellan emitterkanten och baskontakten (förutsatt att ytrekombination eller bulkrekombination inte är tillräckligt stora för betydligt minskande av diffusionslängden). Det är till exempel tänkbart att diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare kan minskas genom ökning av avståndet mellan bas-emitterövergången och baskontakten (d.v.s. ökning
 30 av mellanområdets storlek), vilket därigenom minskar extraktionen av minoritetsladdningsbärare från basområdets aktiva del till baskontakten och således ökar mängden konduktivitetsmodulering.

Med fördel kan avståndet mellan bas-emitterövergången och kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet vara minst 5 mikrometer för
 35 åstadkommande av någon konduktivitetsmodulering i BJT:ns kollektorområde (och fortfarande bibehålla effektiva switchegenskaper). Beroende på den tänkta tillämpningen och i synnerhet den önskade kompromissen mellan effektförluster vid framspänning och switch, är det tänkbart att BJT:er i SiC

konstrueras med mellanområden som tillhandahåller större avstånd än 5 mikrometer mellan bas-emitterövergången och kontaktzonen, till exempel inom intervallet 6-20 mikrometer, och företrädesvis inom intervallet 8-15 mikrometer, för att uppnå en tillräcklig grad av konduktivitetsmodulering.

- 5 Enligt en annan utföringsform kan en (fysikalisk) parameter som påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare vara dopningsnivån hos mellanområdets halvledarmaterial, vilket är fördelaktigt eftersom en ökad dopningsnivå (eller dopningskoncentration) i mellanområdet (basområdets extrinsiska del) minskar koncentrationen av
- 10 minoritetsladdningsbärare i denna del av basområdet (varvid koncentrationen av minoritetsladdningsbärare är proportionell mot den intrinsiska bärarkoncentrationen i kvadrat dividerat med den lokala koncentrationen av majoritetsladdningsbärare) och därigenom minskar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare, och vice versa.

- 15 I synnerhet kan dopningsnivån hos mellanområdets halvledarmaterial vara minst $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Beroende på den tänkta tillämpningen och i synnerhet den önskade kompromissen mellan effektförluster förknippade med framspänning och switch, är det tänkbart att en BJT i SiC konstrueras varvid dopningsnivån i mellanområdet är större än $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, till exempel inom
- 20 intervallet $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ till $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, och företrädesvis ungefär $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

- Även om kontrollen eller bestämningen av graden av konduktivitetsmodulering i BJT:n har beskrivits ovan separat antingen genom justering av mellanområdets storlek (och därigenom avståndet mellan bas-emitterövergången och baskontakten) eller genom justering av
- 25 mellanområdets dopningsnivå, är det också tänkbart att graden av konduktivitetsmodulering kan bestämmas genom justering av båda parametrarna. Även om två detaljerade konstruktionskoncept har beskrivits för bestämning av graden av konduktivitetsmodulering, är med andra ord en kombination av dessa två konstruktionskoncept också tänkbar. En
- 30 kombination av de två konstruktionskoncepten kan vara fördelaktig eftersom en justering (t.ex. en ökning) av mellanområdets storlek (avståndet mellan bas-emitterövergången och baskontakten) påverkar den så kallade cellpitchen hos BJT:n i SiC, d.v.s. densiteten av SiC-BJT-celler (vilken minskar vid en ökning av avståndet). De två konstruktionskoncepten kan
- 35 därför kombineras för att uppnå en önskad kompromiss (företrädesvis den optimala kompromissen) mellan graden av konduktivitetsmodulering och cellpitch hos BJT:n i SiC.

Med hänvisning nu i synnerhet till förfarandet för tillverkning av en BJT i SiC enligt den första aspekten av föreliggande uppfinning, kan mellanområdet utformas enligt följande processförfarande. Åtminstone en del av basområdet i basområdets passiva del kan avlägsnas och ett skikt av halvledarmaterial (av vilket mellanområdet ska göras) kan tillhandahållas ovanpå BJT:n. Sedan avlägsnas halvledarmaterialskiktet som har tillhandahållits ovanpå emitterområdet. Som följd ersätts basområdets passiva del av det nytillhandahållna halvledarskiktet, d.v.s. mellanområdet. Dopningsnivån och mellanområdets storlek kan anpassas till den tänkta tillämpningen av BJT:n i SiC.

Alternativt kan mellanområdet utformas genom tillhandahållande av ett skikt av halvledarmaterial ovanpå kollektorområdet och avlägsnande av halvledarmaterialskiktet vid ett läge motsvarande den aktiva delen av basområdet och emitterområdet. Ytterligare detaljer om dessa två alternativ kommer att beskrivas i följande beskrivning.

I föreliggande ansökan är i allmänhet effekter och särdrag förknippade med BJT:n i SiC såsom den definieras i enlighet med den andra aspekten av föreliggande uppfinning och dess utföringsformer i stort sett analoga med de som beskrivs i samband med förfarandet enligt den första aspekten av föreliggande uppfinning. Det tordes därför inses att särdrag i utföringsformer beskrivna med hänvisning till förfarandet enligt den första aspekten av uppfinningen kan kombineras med BJT:n i SiC i enlighet med den andra aspekten av uppfinningen och vice versa, för att skapa andra utföringsformer än de som är beskrivna här.

Ytterligare ändamål, särdrag hos, och fördelar med föreliggande uppfinning kommer att klargöras i följande beskrivning av föredragna utföringsformer, ritningar och bifogade krav. Det tordes inses att olika särdrag hos föreliggande uppfinning kan kombineras för att skapa andra utföringsformer än de som beskrivs i det följande.

30 Kort beskrivning av ritningarna

Ovanstående, liksom ytterligare ändamål, särdrag hos och fördelar med föreliggande uppfinning kommer att klargöras i följande illustrativa, icke-begränsande detaljerade beskrivning av föredragna utföringsformer av föreliggande uppfinning med hänvisning till de bifogade ritningarna, på vilka:

35 figur 1 schematiskt visar ett tvärsnitt av en BJT i SiC, vilken BJT innefattar ett mellanområde i enlighet med en utföringsform av föreliggande uppfinning;

figur 2 schematiskt visar ett tvärsnitt av en BJT i SiC med ett mellanområde som tillhandahåller ett större avstånd mellan bas-emitterövergången och baskontakten än det som visas i figur 1, i enlighet med en utföringsform av föreliggande uppfinning;

5 figur 3 visar, för en basströmdensitet på 10 A/cm^2 , simulerade kollektorströmdensiteter (kurvorna A, B och C) som en funktion av spänningen mellan kollektorområdet och emitterområdet för mellanområden som tillhandahåller avstånd mellan bas-emitterövergången och baskontakten på 2, 4 respektive 8 mikrometer;

10 figur 4 schematiskt visar ett tvärsnitt av en BJT i SiC vilket illustrerar effekten av mellanområdets dopningsnivå i enlighet med en utföringsform av föreliggande uppfinning;

figur 5 visar, för en basströmdensitet på 10 A/cm^2 och en förmodad temperatur på 150°C , de simulerade kollektorströmdensiteterna (kurvorna A, B och C) som en funktion av spänningen mellan kollektorområdet och emitterområdet för mellanområden som tillhandahåller ett avstånd mellan bas-emitterövergången och baskontakten på $4 \mu\text{m}$, vilka mellanområden har en dopningsnivå lika med $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ (vanlig basdopningsnivå), $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ respektive $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$;

20 figur 6a-6e visar ett processflöde som illustrerar ett förfarande för utformning av ett mellanområde i en BJT i SiC i enlighet med en exemplifierande utföringsform av föreliggande uppfinning; och

figur 7a-7d visar ett processflöde som illustrerar ett förfarande för utformning av ett mellanområde i en BJT i SiC i enlighet med en annan exemplifierande utföringsform av föreliggande uppfinning.

25 Alla figurer är schematiska, inte nödvändigtvis skalenliga, och visar i allmänhet bara delar som är nödvändiga för klargörande av uppfinningen, varvid andra delar kan vara utelämnade eller bara föreslagna.

Detaljerad beskrivning

30 Med hänvisning till figur 1 beskrivs en utföringsform av föreliggande uppfinning.

Figur 1 visar en BJT i SiC 100, vilken BJT innefattar ett kollektorområde 120, ett basområde 140 och ett emitterområde 160 vilka är anordnade på ett substrat 110, varvid basområdet 140 är anordnat mellan kollektorområdet 120 och emitterområdet 160.

Närmare bestämt visar figur 1 ett schematiskt tvärsnitt av en vertikal BJT 100 (av NPN-typ) varvid kollektorområdet 120, basområdet 140 och

emitterområdet 160 är staplade på varandra. BJT:n 100 innefattar också en kollektorkontakt 125 för elektrisk anslutning till kollektorområdet 120, en baskontakt 145 för elektrisk anslutning till basområdet 140 och en emitterkontakt 165 för elektrisk anslutning till emitterområdet 160.

- 5 En vertikal BJT innefattar två pn-övergångar, en vid gränsen mellan kollektorområdet 120 och basområdet 140, vilken också kallas för kollektor-basövergången i föreliggande ansökan, och en till vid gränsen mellan basområdet 140 och emitterområdet 160, vilken också kallas för bas-emitterövergången i föreliggande ansökan. Kollektor-basövergången och bas-emitterövergången är två känsliga (aktiva) områden hos BJT:n.

- 10 Under framförhållanden läggs en positiv spänning över bas-emitterövergången så att fria bärare (elektroner om det är en BJT av NPN-typ) injiceras från emitterområdet till basområdet 140. I en BJT av NPN-typ kallas elektronerna *minoritetsladdningsbärarna* eftersom basen 140 är gjord av p-dopat material varvid de positiva laddningsbärarna (eller hålen) är
- 15 *majoritetsladdningsbärare*. Eftersom BJT:n fungerar i sitt på-läge (ofta hänvisat till som mättnad) med en tillräckligt stor basström för att uppnå ett lågt framspänningsfall (V_{CESAT}) är kollektor-basövergången under framspänning så att hål injiceras från basområdet 140 in i kollektorområdet
- 20 120. Dessutom är bas-emitterövergången under framspänning och elektroner som är injicerade från emitterområdet 160 in i basområdet 140 diffunderar genom basområdet 140 och når kollektorområdet 120. Således tillåter konstruktionen av BJT:n injektion av både elektroner och hål in i kollektorområdet 120, vilket orsakar en ackumulering av bärare i
- 25 kollektorområdet 120 och därigenom konduktivitetsmodulering.

I föreliggande ansökan hänvisar vantligtvis uttrycket "vertikal" till växriktningen hos de skikt eller områden som bildar BJT:n under tillverkningen av BJT:n, varvid kollektorskiktet 120, basskiktet 140 och emitterskiktet 160 är växta i den här ordningen ovanpå varandra.

- 30 För att möjliggöra kontrollen av graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet 120 innefattar BJT:n 100 ett mellanområde 180 av halvledarmaterial, vilket område är anordnat mellan bas-emitterövergången (eller kant 162 hos emitterområdet 160 såsom visas i ritningarna) och en kontaktzon 145 för elektrisk kontakt till basområdet 140. Med andra ord är
- 35 mellanområdet 180 anordnat mellan en kant 162 hos bas-emitterövergången och en kant hos kontaktzonen 145 för elektrisk kontakt till basområdet 140, d.v.s. i basområdets 140 passiva del (d.v.s. den del av basområdet vilken inte angränsar emitterområdet 160).

Det tordes inses att även om mellanområdet 180 som visas i figur 1 inte sträcker sig längre än kanten hos baskontakten 145 närmast emitterkanten 162, är det tänkbart (såsom illustreras vidare i figur 6e och 7d) att mellanområdet kan sträcka sig under baskontakten 145.

5 Med hänvisning till figur 1 är mellanområdets 180 storlek (sidostorlek) betecknad som W , vilken sedan motsvarar avståndet mellan en kant eller sida 162 hos bas-emitterövergången och baskontakten 145. Sidostorleken är definierad att vara i en riktning som är väsentligen vinkelrät mot växriktningen hos skikten på substratet 110.

10 Enligt föreliggande uppfinning bestäms graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet 120 genom justering av minst en parameter hos mellanområdet 180, vilken parameter påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet 180. För en BJT av NPN-typ är mellanområdet 180 anpassat att bestämma
15 diffusionsströmmen av elektroner från basområdets 140 intrinsiska del till baskontakten 145.

I föreliggande ansökan är parametrarna hos mellanområdet 180, vilka parametrar påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet 180, i allmänhet fysikaliska parametrar hos mellanområdet
20 180 såsom storleken eller bredden och dopningskoncentrationen, såsom kommer att beskrivas vidare med hänvisning till figur 2-5. I synnerhet resulterar en minskning av diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet 180 i en ökning av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet 120 eftersom färre bärare som har injicerats från emitterområdet 160 in i
25 basområdet 140 blir involverade i en rekombinationsprocess vid baskontakten 145. Fortfarande med hänvisning till den vertikala BJT 100 som har beskrivits med hänvisning till figur 1 minskar minskningen av diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet 180 sidoextraktionen av minoritetsladdningsbärare från basområdet 140 till baskontakten 145, vilket
30 därigenom ökar den vertikala injektionen av bärare och mängden konduktivitetsmodulering i kollektorområdet 120.

I en exemplifierande men inte begränsande utföringsform för tillverkningen av en BJT 100 i SiC såsom har beskrivits med hänvisning till figur 1, kan en lågresistiv n-typs-dopad wafer (vanligtvis 3-tumswafer eller 4-tumswafer) av SiC (t.ex. 4H-SiC) användas som utgångsmaterial, d.v.s. som
35 substratet 110. Komponenttillverkningen kan vara baserad på en epitaxiellt växt NPN-struktur varvid kollektorområdet 120 är gjort av n-dopat halvledarmaterial, basområdet 140 är gjort av p-dopat halvledarmaterial och

emitterområdet 160 är gjort av n-dopat halvledarmaterial. Respektive dopningskoncentration för en BJT i SiC är vanligtvis i storleksordningen 10^{15} cm^{-3} för kollektorområdet 120 med en tjocklek på ungefär 10-20 μm , 10^{17} cm^{-3} för basområdet 140 som har en tjocklek på ungefär 300 nm till 1 μm , och 10^{19} cm^{-3} för emitterområdet 530 som har en tjocklek på ungefär 500 nm till 2 μm .

Ohmska kontakter 125 och 165 kan tillverkas till de n-typs-dopade emitter- respektive kollektorområdena 120 och 140 genom deponering av nickel följt av värmebehandling vid en temperatur inom intervallet 800-1100°C. En ohmsk kontakt till basområdet 140 av p-typ kan tillverkas genom värmebehandling av en legering som består av aluminium (Al), vid temperaturer i samma intervall som det som används för utformning av nickelkontakterna. Al kan deponeras ovanpå bas- respektive emitterkontakterna 145 respektive 165 för minskning av serieresistansen i metalliseringen och tillåtande av trådbondning till översidan av chippet. Ett metallsystem som innefattar nickel och guld kan deponeras till baksidan av chippet för att göra det kompatibelt med konventionell fästteknologi för chipet.

Ett separat steg med aluminiumjonimplantation kan också användas för tillhandahållande av en lågresistiv baskontakt, och för utformning av en övergångsavslutningsförlängning (JTE) med hög spänningsblockeringsförmåga. JTE-implantationsdosen är företrädesvis i storleksordningen 10^{13} cm^{-2} för erhållande av förbättrad blockeringsförmåga. Värmebehandling för aktivering av implanterade dopatomer kan utföras vid temperaturer inom intervallet 1600°C till 1700°C. Ytpassivering av komponenten 100 kan också utföras med termisk oxidation av SiC under förbättrade förhållanden för att uppnå låga defektkoncentrationer vid gränssytan mellan SiC och SiO₂-ytpassiveringsskiktet.

Nu med hänvisning till figur 2-5 kommer två mer specifika konstruktionskoncept för kontrollerande av graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet hos en BJT i SiC att beskrivas.

Med hänvisning till figur 2 beskrivs ett konstruktionskoncept för kontrollerande av graden av konduktivitetsmodulering i enlighet med en utföringsform av föreliggande uppfinning, vilket konstruktionskoncept är baserat på variation eller justering av mellanområdets storlek.

Figur 2 visar schematiskt ett tvärsnitt av en BJT 200 i SiC vilken är identisk med den BJT 100 i SiC som har beskrivits med hänvisning till figur 1 förutom att mellanområdet 280 tillhandahåller ett större avstånd W mellan bas-emitterövergången och baskontakten 145 än mellanområdet 180 som visas i figur 1.

Figur 2 illustrerar också koncentrationen av minoritetsladdningsbärare, d.v.s. elektronkoncentrationen för en NPN-transistor, som en funktion av mellanområdet 280 sidostorlek, vilken storlek motsvarar det närmsta avståndet W mellan emittern 160 (eller bas-emitterövergången) och baskontakten 145. I detta avseende är det beaktat att elektronkoncentrationen vid baskontaktgränsytan, d.v.s. vid $x=W$ såsom anges i figur 2, når sitt jämviktsvärde, vilket antas vara försumbart (d.v.s. mycket väl approximerat till noll) eftersom bärarrecombinationen vid den ohmska kontakten är väldigt hög. Vidare kan elektronkoncentrationen vid emitterkanten eller kanten 162 hos bas-emitterövergången, d.v.s. vid $x=0$ såsom anges i figur 2, bestämmas enligt följande ekvation:

$$n(0) \sim \exp\left(\frac{q \times V_{BE}}{k \times T}\right) \quad \text{ekvation 1,}$$

varvid $n(0)$ är elektronkoncentrationen vid $x=0$ såsom definierats ovan, q är storleken på en elektrons elektriska laddning med ett värde på $1,6 \times 10^{-19}$ C, V_{BE} är spänningen mellan basområdet 140 och emitterområdet 160, k är Boltzmanns konstant ($1,38 \times 10^{-23}$ J.K⁻¹) och T är temperaturen.

Eftersom elektronkoncentrationens gradient och elektrondiffusionsströmmen är direkt proportionella är elektrondiffusionsströmmen omvänt proportionell mot avståndet mellan emitterkanten vid $x=0$ och baskontakten vid $x=W$ (vid antagandet att ytrekombinationen eller bulkrekombinationen inte är stor nog för betydlig minskning av diffusionslängden).

Men hänvisning nu till figur 1, är elektronkoncentrationen genom mellanområdet 180, d.v.s. som en funktion av avståndet mellan emitterkanten 162 och baskontakten 145, också återgiven. Enligt detta specifika konstruktionskoncept, vid jämförelse av figur 1 och 2, beror elektrondiffusionsströmmen i mellanområdena 180 respektive 280 på avståndet W mellan emitterkanten 162 och kanten hos baskontakten 145. I synnerhet minskar det långa avståndet som visas i figur 2 sidoelektrondiffusionsströmmen, vilken i sin tur reducerar sidoextraktionen av elektroner och därigenom ökar den vertikala elektroninjektionen och mängden konduktivitetsmodulering i kollektorområdet 120.

Beroende på den tänkta tillämpningen, kan mellanområdets storlek justeras under tillverkningen av BJT:n för bestämning av graden av konduktivitetsmodulering i komponenten med hänsyn tagen till kompromissen

mellan effektförluster vid framspänningen och switchegenskaperna hos BJT:n i SiC.

För att vidare illustrera effekten av mellanområdets sidostorlek (eller bredd) visar figur 3 en jämförelse av simulerade I-V-karakteristiker A, B och C vid en temperatur på 150°C med en basström (I_B) på 10 A/cm² för identiska BJT:er i SiC förutom att mellanområdena tillhandahåller avstånd W mellan bas-emitterövergången och baskontakten på 2, 4 respektive 8 µm (mikrometer). Resultaten av simuleringarna visar att ett framspänningsfall (V_{CESAT}) vid en normal driftframströmsdensitet på 250 A/cm² är 0,52 V för ett avstånd på 8 µm (kurva C), vilket är 40% mindre än framspänningsfallet ($V_{CESAT}=0,87$ V) för ett avstånd på 2 µm (kurva A). Konstruktionskonceptet som baseras på en justering av mellanområdets sidostorlek är därför effektivt för bestämning av graden av konduktivitetsmodulering. Enligt detta konstruktionskoncept kan graden av eller mängden konduktivitetsmodulering ökas genom tillhandahållande av ett mellanområde som ökar avståndet mellan emitterkanten 162 och baskontakten 145.

Med hänvisning till figur 4 beskrivs ett konstruktionskoncept för kontrollerande av graden av konduktivitetsmodulering i enlighet med en annan utföringsform av föreliggande uppfinning, vilket konstruktionskoncept är baserat på en variation eller justering av mellanområdets dopningsnivå.

Figur 4 visar schematiskt ett tvärsnitt av en BJT 400 i SiC vilken är identisk med den BJT 100 i SiC som beskrivs med hänvisning till figur 1 förutom att mellanområdets 480 dopningsnivå är betydligt högre än dopningsnivån hos mellanområdet 180 som visas i figur 1 och i synnerhet högre än dopningsnivån hos basskiktets 140 aktiva del som angränsar emitterområdet 160 för bildande av bas-emitterövergången.

I både BJT:n 100 i SiC och BJT:n 400 i SiC vilka har beskrivits med hänvisning till figur 1 respektive 4, förblir dopningsnivån i basområdets 140 del som angränsar emitterområdet 160 oförändrad och är i storleksordningen 5×10^{17} cm⁻³ eftersom dopningsnivån hos denna del hos basområdet påverkar den normala funktionen hos BJT:n i SiC (d.v.s. de förspänningsförhållandena som behövs för att uppnå ledning eller blockering av en ström).

Figur 4 illustrerar också koncentrationen av minoritetsladdningsbärare, i det här fallet elektronkoncentrationen, som en funktion av mellanområdets 480 sidostorlek, vilken storlek motsvarar det närmsta avståndet mellan emitterområdet 160 (eller bas-emitterövergången) och baskontakten 145. I den här återgivningen når elektronkoncentrationen vid baskontaktgränsytan sitt jämviktswärde, vilket antas vara försumbart (d.v.s. mycket väl

approximerat till noll) eftersom bärarrekombination vid den ohmska kontakten 145 är väldigt hög. Vidare kan elektronkoncentrationen vid emitterkanten eller kanten 162 hos bas-emitterövergången, d.v.s. vid $x=0$ såsom anges i figur 4, bestämmas enligt följande ekvation:

5

$$n(0) \sim \left(\frac{n_i^2}{N_A} \right) \times \exp \left(\frac{q \times V_{BE}}{k \times T} \right) \quad \text{ekvation 2,}$$

varvid $n(0)$ är elektronkoncentrationen vid $x=0$ såsom definieras ovan, n_i är den intrinsiska bärarkoncentrationen, N_A är den lokala acceptorkoncentrationen, q är storleken på en elektrons elektriska laddning med ett värde på $1,6 \times 10^{-19}$ C, V_{BE} är spänningen mellan basområdet och emitterområdet, k är Boltzmanns konstant ($1,38 \times 10^{-23}$ J.K⁻¹) och T är temperaturen.

I jämförelse med elektronkoncentrationen återgiven i figur 1 varvid dopningsnivån i mellanområdet 180 är densamma (eller nästan densamma) som i basområdets 140 aktiva del, minskar ökningen i dopningskoncentrationen hos mellanområdet 480 i BJT:n som har beskrivits med hänvisning till figur 4 koncentrationen av minoritetsladdningsbärare (elektroner) vid $x=0$. Till följd minskar elektronkoncentrationsgradienten (återgiven med lutningen eller derivatan av linjen som visas i grafen i figur 4). En ökad dopningskoncentration i mellanområdet minskar elektronkoncentrationen i detta område med en faktor som är lika med den relativa ökningen av dopningskoncentrationen i mellanområdet.

Detta specifika konstruktionskoncept är effektivt eftersom, såsom har illustrerats med en jämförelse av figur 1 och 4, elektronkoncentrationsgradienten, och således elektrondiffusionsströmmen, kontrolleras genom justering av dopningskoncentrationen i mellanområdet 480. I synnerhet minskar en högre dopningsnivå såsom visas i figur 4 sidoelektrondiffusionsströmmen, vilket i sin tur minskar sidoextraktionen av elektroner och därigenom ökar den vertikala elektroninjektionen och mängden konduktivitetsmodulering i kollektorområdet 120.

För att vidare illustrera effekten av dopningskoncentrationen hos mellanområdet 480 i en BJT i SiC visar figur 5 en jämförelse av simulerade I-V-karaktäristiker A, B och C vid en temperatur på 150°C med en basström (I_B) på 10 A/cm² för identiska BJT:er i SiC förutom att dopningsnivåerna i mellanområdet är lika med en vanlig dopningsnivå (5×10^{17} cm⁻³) hos ett epitaxiellt växt basområde 140, 5×10^{18} cm⁻³ respektive 5×10^{19} cm⁻³. I

exemplet i figur 5 tillhandahåller mellanområdena ett avstånd mellan kanten 162 hos emitterområdet 160 och baskontakten 145 på 4 mikrometer i alla tre simulerade fall.

- Resultaten av simuleringarna visar att ett framspänningsfall (V_{CESAT}) vid en normal driftframströmsdensitet på 250 A/cm^2 är 0,46 V för en extrinsisk dopningskoncentration på $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ hos mellanområdet 480, vilket är 38% mindre än framspänningsfallet ($V_{CESAT} = 0,74 \text{ V}$) för fallet med en vanlig dopningskoncentration i storleksordningen $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

- Enligt detta konstruktionskoncept kan graden av eller mängden konduktivitetsmodulering ökas genom ökning av dopningsnivån hos mellanområdet 480 hos en BJT 400 i SiC.

- Beroende på den tänkta tillämpningen justeras mellanområdets 480 dopningsnivå under tillverkningen av BJT:n för bestämning av graden av konduktivitetsmodulering i komponenten med hänsyn tagen till kompromissen mellan effektförluster vid framspänning och switchegenskaperna hos BJT:n 400.

- Enligt en utföringsform kan både storleken på mellanområdet hos BJT:n i SiC och dess dopningskoncentration justeras för bestämning av mängden konduktivitetsmodulering i BJT:n i SiC. I detta avseende är det värt att notera att bestämning av konduktivitetsmodulering, vilken bestämning baseras på en justering av mellanområdets dopningsnivå är fördelaktig jämfört med konstruktionskonceptet som är baserat på justering av mellanområdets storlek eftersom den inte kräver någon variation av BJT:ns totala storlek (eller så kallade cellpitch). Således är konstruktionskonceptet som beskrivs med hänvisning till figur 4 och 5 mer kompatibel med antingen en vanlig cellpitch eller även en mindre total cellpitch än konstruktionskonceptet som har beskrivits med hänvisning till figur 1-3.

Med hänvisning till figur 6 och 7 beskrivs två separata sekvenser med processteg för tillverkningen av ett mellanområde enligt ovan.

- Figur 6a-6d visar ett processflöde som illustrerar ett förfarande för utformning av ett mellanområde i en BJT i SiC i enlighet med en exemplifierande utföringsform av föreliggande uppfinning.

- Såsom visas i figur 6a är den inledande utgångspunkten för tillverkning av mellanområdet hos BJT:n i SiC en struktur 600 varvid ett kollektorområde 620, ett basområde 640 och ett emitterområde 660 har tillhandahållits, till exempel med epitaxiell växt, på ett substrat 610. Emitterområdet 660 kan ha utformats med epitaxiell växt av ett emitterskikt ovanpå basskiktet följt av ett steg med mönstring, med användande av fotolitografiska tekniker (såsom

optisk fotolitografi, elektronstrålelitografi, röntgenlitografi, jonstrålelitografi, nanoimprintlitografi, eller någon annan slags litografiteknik inom halvledarteknologin), för definiering av arean som motsvarar emitterområdet 660 ovanpå basområdet 640. Sedan utförs ett etsningssteg för avlägsnande av den del hos emitterskiktet vilken är oskyddad av mönstret, d.v.s. den del hos emitterskiktet vilken inte är avsedd att bilda bas-emitterövergången.

Såsom visas i figur 6b är nästa steg sedan avlägsnande av (till exempel med reaktiv jonetsning) den del hos basskiktet vilken inte är avsedd att bilda bas-emitterövergången, d.v.s. delen hos basskiktet vilken inte är belägen direkt under emitterområdet 660. Ett sådant avlägsningssteg kan innefatta delsteg med mönstring av strukturens yta och etsning av ytans del som är oskyddad av mönstret.

Vidare, såsom illustreras i figur 6c, tillhandahålls ett skikt gjort av halvledarmaterial, vilket skikt är avsett att bilda mellanområdet 680 på ytan av hela strukturen 600. Mellanområdets material är med fördel detsamma som materialet som används till de andra skikten hos BJT:n och typen av dopning (d.v.s. n-typ eller p-typ) är densamma som den hos basområdet som angränsar emitterområdet. Skiktet kan växas epitaxiellt eller deponeras (till exempel med CVD-epitaxi) och dess dopningsnivå väljs i enlighet med den mängd konduktivitetsmodulering som önskas i BJT:n. När skiktet är deponerat eller växt på hela ytan av halvledarstrukturen 600 är nästa steg som visas i figur 6d avlägsnande av delen hos skiktet som har deponerats eller växts ovanpå emitterområdet 660 med användande av delsteg med mönstring och etsning såsom har beskrivits ovan.

Ett mellanområde 680 som är anordnat på sidan av basområdet 640 och ovanpå kollektorområdet 620 tillhandahålls därigenom. För att vidare definiera mellanområdet 680 och dess inverkan på graden av konduktivitetsmodulering i BJT:n 600, är baskontakten 645 konstruerad att anordnas på ett specifikt avstånd W från bas-emitterövergången, såsom återges i figur 6e.

Figur 7a-7d visar ett alternativt processflöde som illustrerar ett förfarande för utformning av ett mellanområde i en BJT i SiC i enlighet med en annan exemplifierande utföringsform av föreliggande uppfinning.

Såsom visas i figur 7a är den inledande utgångspunkten för tillverkning av mellanområdet hos BJT:n i SiC en struktur 700 varvid ett kollektorområde 720 har tillhandahållits, till exempel med epitaxiell växt, på ett substrat 710. Sedan, såsom visas i figur 7b, tillhandahålls ett skikt gjort av halvledarmaterial, vilket skikt är avsett att bilda mellanområdet 780, ovanpå

kollektorområdet (d.v.s. på ytan av hela strukturen 700). Detta skikt 780 kan växas epitaxiellt eller deponeras och dess dopningsnivå väljs i enlighet med den mängd konduktivitetsmodulering som önskas i BJT:n.

5 När skiktet är deponerat på hela ytan av halvledarstrukturen, är nästa steg som visas i figur 7c avlägsnande av delen hos skiktet som har deponerats eller växts vid ett läge där basområdet 740 och emitterområdet 760 är tänkta att vara belägna. Avlägsnande av skiktet 780 kan utföras med användande av delsteg med mönstrings- och etsningstekniker såsom har beskrivits ovan.

10 Basområdet 740 och emitterområdet 760 kan sedan utformas med epitaxiell växt av ett basskikt följt av epitaxiell växt av ett emitterskikt. Eftersom bas- och emitterskikten kan tillhandahållas ovanpå hela strukturen 700 kan antingen skydd av mellanområdet 780 före deponering eller växt av dessa skikt eller en sekvens av mönstrings- och etsningssteg efter
15 deponeringen eller växten av dessa skikt utföras så att mellanområdet 780 är fritt från material som används till bas- och emitterområdena 740 och 760. Den resulterande strukturen 700 visas i figur 7d, varvid baskontakten 745 som är konstruerad att anordnas på ett specifikt avstånd W från bas-emitterövergången också är återgiven. Avståndet W bestämmer ytterligare
20 faktorerna som påverkar graden av konduktivitetsmodulering i BJT:n 700, såsom har beskrivits ovan.

Medan specifika utföringsformer har beskrivits kommer fackmannen att förstå att olika modifieringar och ändringar är tänkbara inom det omfång som det definieras i de bifogade kraven.

25 Till exempel, även om parametrarna som påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare i mellanområdet har beskrivits vara storleken på mellanområdet och dess dopningsnivå, är det också tänkbart att diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärarna kan påverkas genom tillhandahållande av ett mellanområde gjort av ett annat material än SiC.

30 Vidare, även om föreliggande uppfinning bara har beskrivits med hänvisning till en vertikal BJT av NPN-typ, är koncepten som ligger bakom föreliggande uppfinning likväl användbara för en vertikal BJT av PNP-typ varvid minst en av parametrarna som påverkar diffusionsströmmen av positiva laddningsbärare (hål) i ett mellanområde som är anordnat mellan
35 bas-emitterövergången och baskontakten kan justeras för bestämmande av graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet hos BJT:n av PNP-typ. För en BJT av PNP-typ är minoritetsladdningsbärarna i basområdet positiva laddningsbärare (hål) och mellanområdet dopat med en donator.

PATENTKRAV

1. Förfarande för tillverkning av en bipolär transistor (100), BJT, i kiselkarbid, vilken BJT innefattar ett kollektorområde (120), ett basområde (140) och ett emitterområde (160), varvid nämnda förfarande innefattar steget att:

tillhandahålla ett mellanområde (180) av halvledarmaterial, vilket mellanområde är anordnat mellan bas-emitterövergången, varvid nämnda bas-emitterövergång utgörs av basområdet och emitterområdet, och en kontaktzon (145) för elektrisk kontakt till basområdet, varvid ~~graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet ökas genom ökning av dopningsnivån hos mellanområdet varigenom mellanområdet är till för att minska~~ diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare från ~~det intrinsiska basområdets aktiva del~~ till kontaktzonen ~~bringas att minskas~~, varvid dopningsnivån hos nämnda mellanområde är minst $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ och högre än dopningsnivån hos basområdets aktiva del.
2. Förfarande enligt krav 1, varvid mellanområdet är anordnat i basområdets passiva del.
3. Förfarande enligt krav 1 eller 2, varvid mellanområdet är anordnat mellan en kant (162) hos bas-emitterövergången och en kant hos kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet.
- 3.4. Förfarande enligt något av föregående krav, varvid mellanområdet sträcker sig från basområdets aktiva del till kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet.
- 4.5. Förfarande enligt något av föregående krav, varvid en parameter som påverkar diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare är mellanområdets storlek (W), varvid nämnda storlek motsvarar avståndet mellan en kant (162) hos bas-

emitterövergången och en kant hos kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet.

- 5.6._____Förfarande enligt något av föregående krav, varvid mellanområdet utformas enligt följande processteg:
- 5 avlägsna åtminstone en del av basområdet i basområdets passiva del;
- tillhandahålla ett skikt av halvledarmaterial ovanpå BJT:n; och
- avlägsna halvledarmaterialskiktet som har tillhandahållits ovanpå emitterområdet.
- 10 6.7._____Förfarande enligt något av kraven 1-45, varvid mellanområdet utformas enligt följande processteg:
- tillhandahålla ett skikt av halvledarmaterial ovanpå kollektorområdet; och
- 15 avlägsna halvledarmaterialskiktet vid ett läge motsvarande bas- och emitterområdena.
- 7.8._____Bipolär transistor (100), BJT, i kiselkarbid, vilken BJT innefattar ett kollektorområde (120), ett basområde (140) och ett emitterområde (160), varvid
- 20 nämnda BJT innefattar ett mellanområde (180) av halvledarmaterial, vilket mellanområde är anordnat mellan bas-emitterövergången, varvid nämnda bas-emitterövergång utgörs av basområdet och emitterområdet, och en kontaktzon för elektrisk kontakt till basområdet, varvid en ökning av dopningsnivån hos mellanområdet bringar mellanområdet är till för att minska
- 25 diffusionsströmmen av minoritetsladdningsbärare från det intrinsiska basområdets aktiva del till kontaktzonen att minska och därigenom graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet att öka, varvid nämnda dopningsnivån hos nämnda mellanområde är minst $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ och högre än dopningsnivån hos basområdets aktiva del.
- 30 8.9._____BJT enligt krav 87, varvid mellanområdet är anordnat i basområdets passiva del.

10. BJT enligt krav 87 eller 98, varvid mellanområdet är anordnat mellan en kant (162) hos bas-emitterövergången och en kant hos kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet.
- 5 | 9-11. BJT enligt något av kraven 8-10, varvid mellanområdet sträcker sig från basområdets aktiva del till kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet.
- 10 | 10-12. BJT enligt något av kraven ~~87-119~~, varvid en annan-parameter som bestämmer graden av konduktivitetsmodulering i kollektorområdet är mellanområdets storlek (W), varvid nämnda storlek motsvarar avståndet mellan en kant (162) hos bas-emitterövergången och en kant hos kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet.
- 15 | 11-13. BJT enligt krav ~~1240~~, varvid avståndet mellan bas-emitterövergången och kontaktzonen för elektrisk kontakt till basområdet är minst 5 mikrometer.
- 15 | 12-14. BJT enligt något av kraven ~~87-1344~~, varvid dopningsnivån hos mellanområdets halvledarmaterial är inom intervallet $5 \times 10^{18} - 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ och företrädesvis ungefär $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.
- 20 | 13-15. BJT enligt något av kraven ~~87-1442~~, varvid BJT:n är en vertikal BJT och en parameter för bestämning av graden av konduktivitetsmodulering är mellanområdets sidobredd.

1/5

minoritetsladdningsbärar-
koncentration

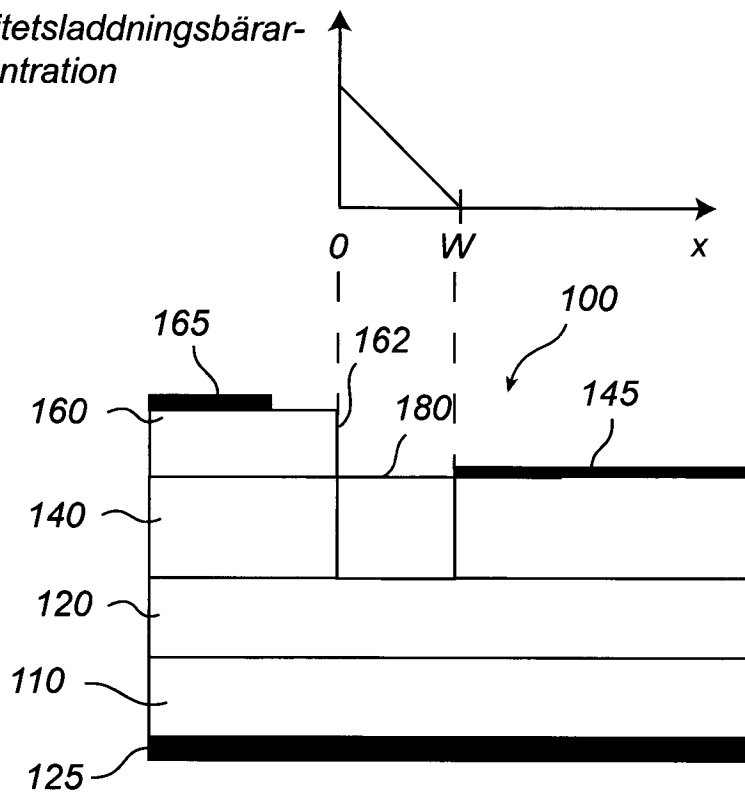


Fig. 1

minoritetsladdningsbärar-
koncentration

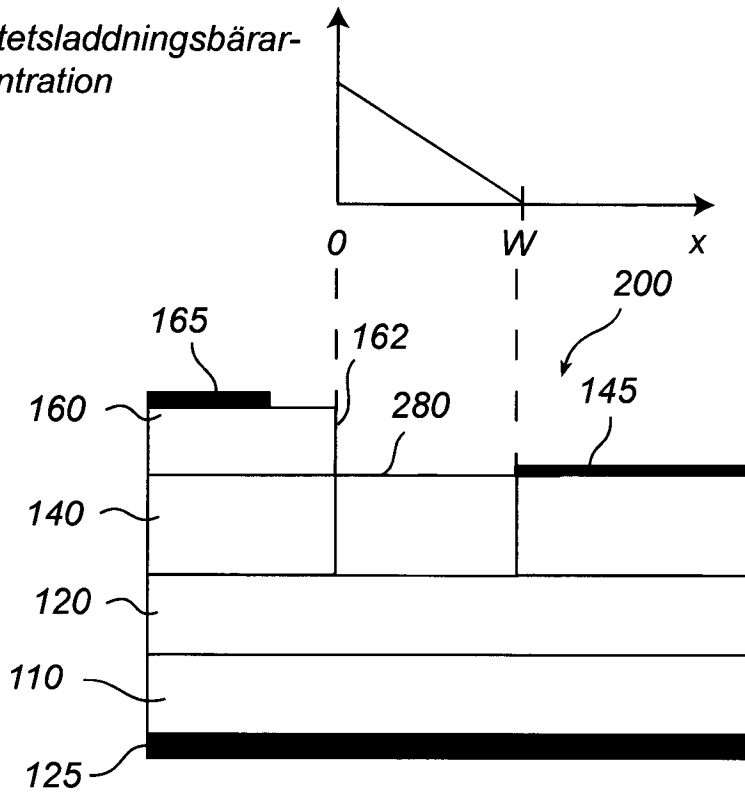
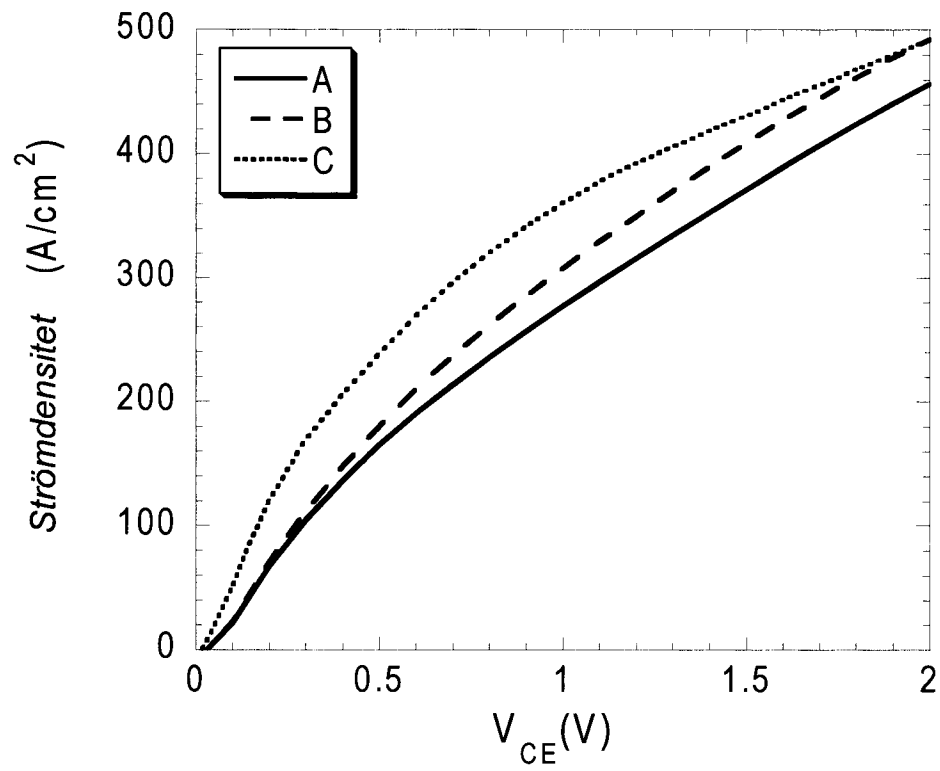


Fig. 2

*Fig. 3*

3/5

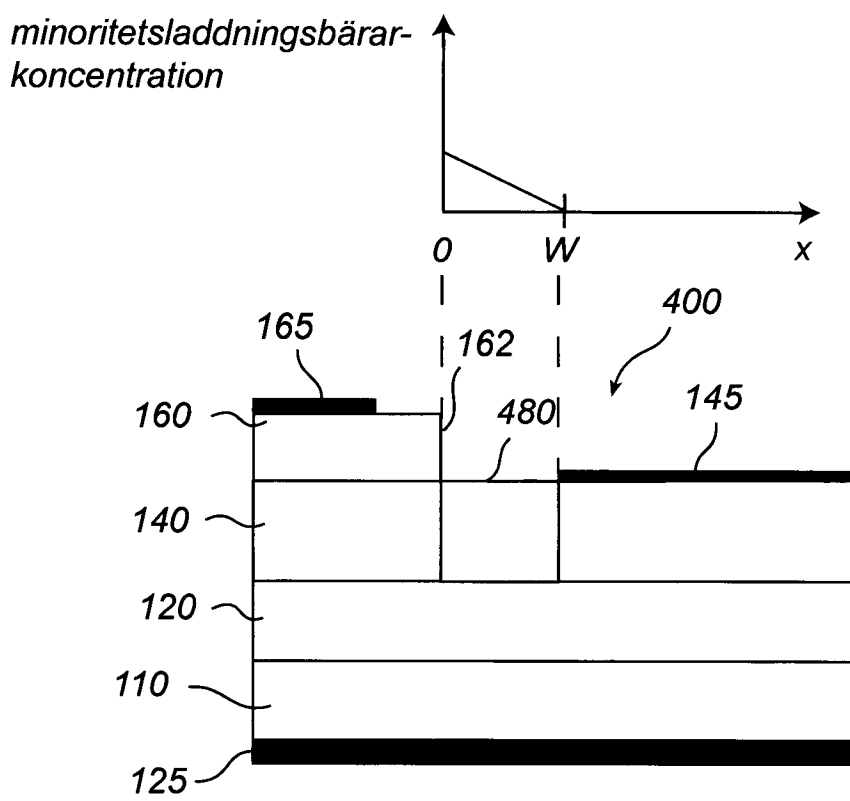


Fig. 4

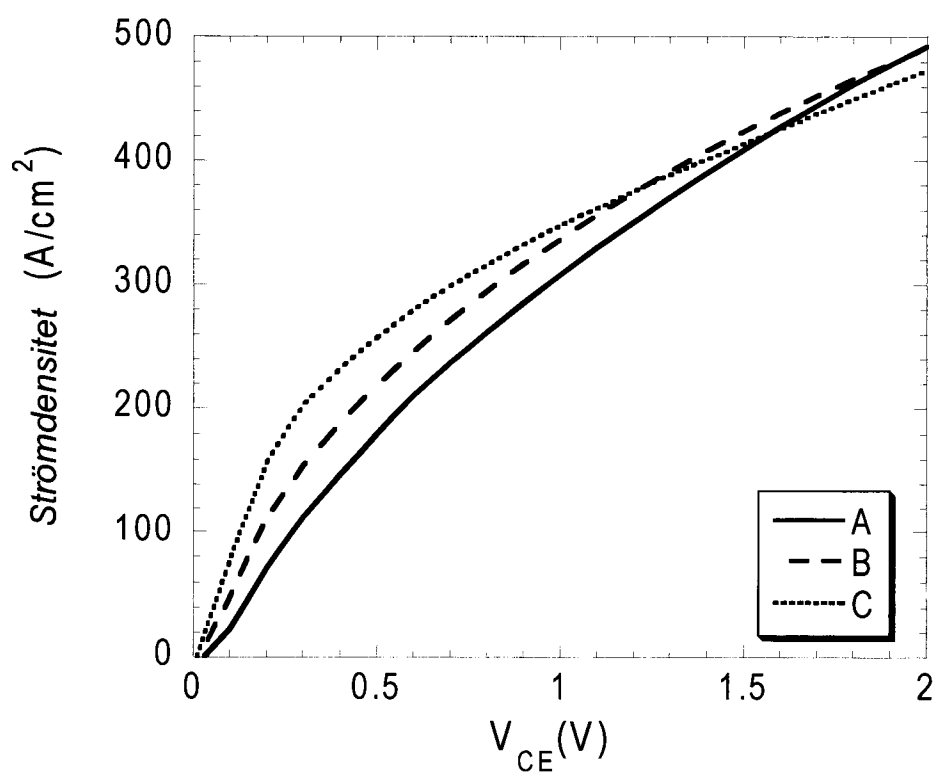


Fig. 5

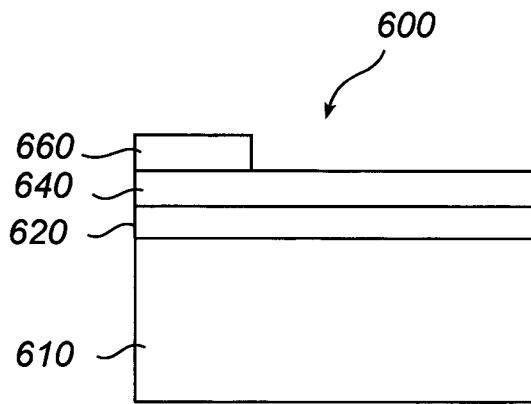


Fig. 6a

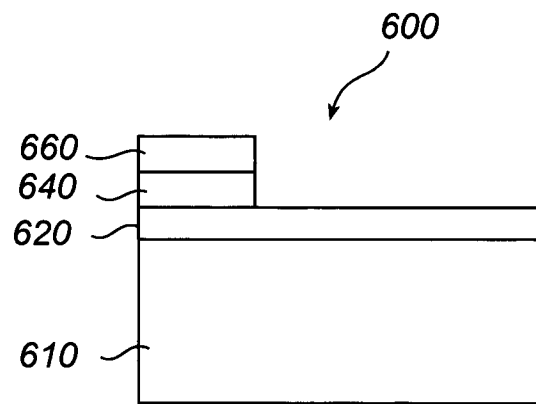


Fig. 6b

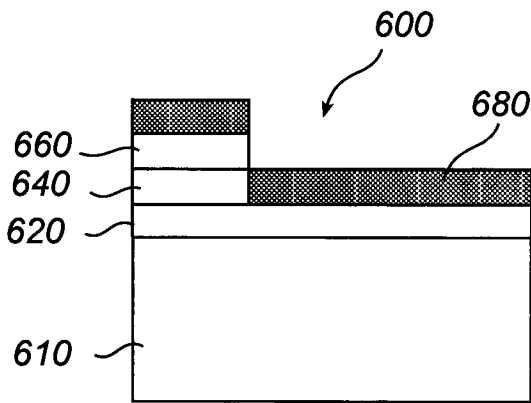


Fig. 6c

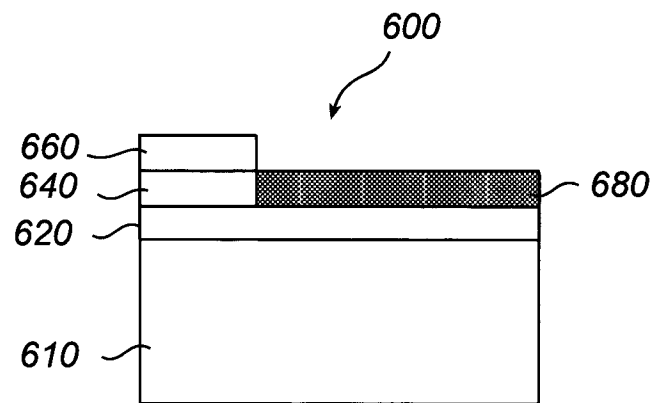


Fig. 6d

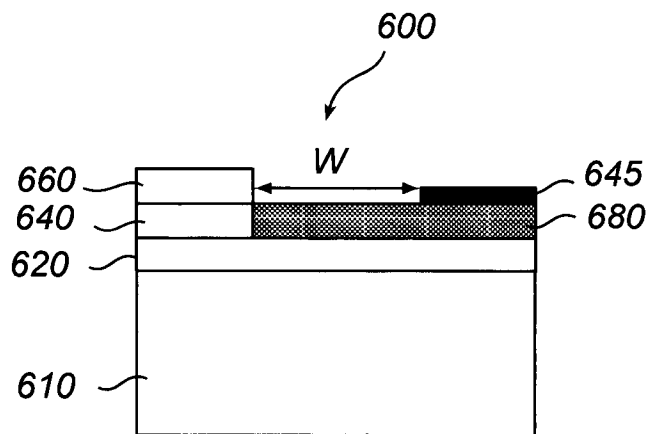


Fig. 6e

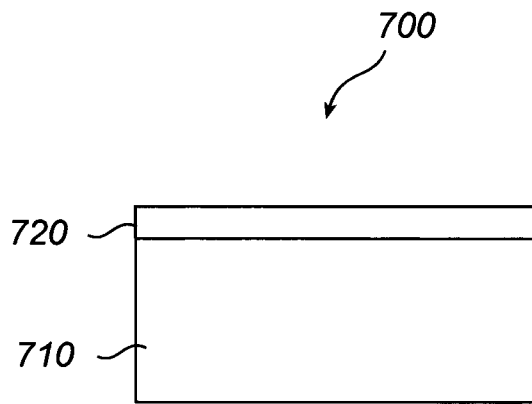


Fig. 7a

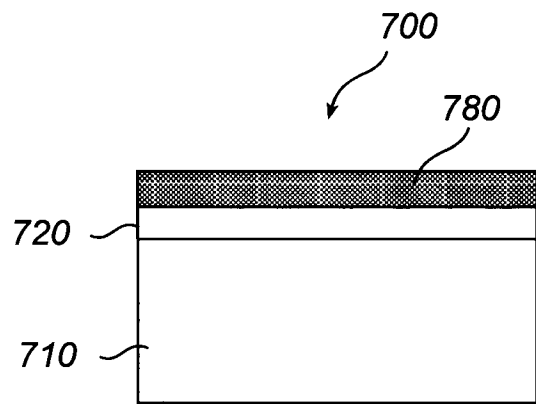


Fig. 7b

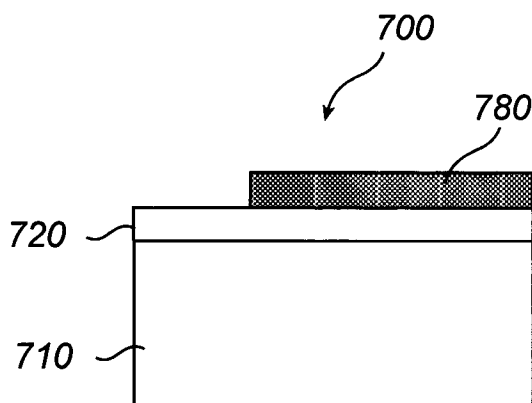


Fig. 7c

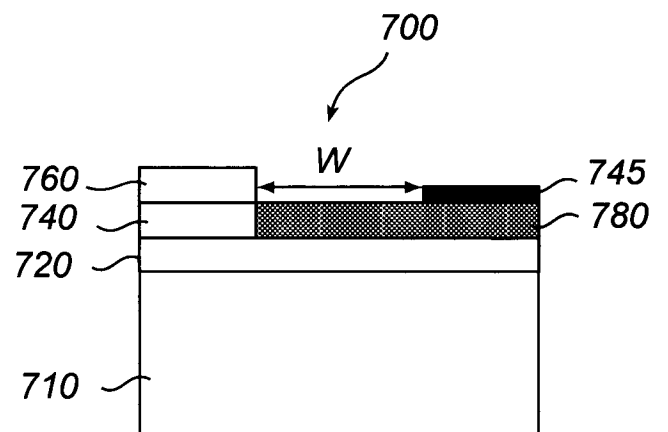


Fig. 7d