PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:
2002 - 6

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.[7]:
H 01 L 29/872

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **03.06.2000**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **03.07.1999**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **1999/19930781**

(33) Země priority: **DE**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **15.05.2002**
(Věstník č. 5/2002)

(86) PCT číslo: **PCT/DE00/01812**

(87) PCT číslo zveřejnění: **WO01/03204**

(71) Přihlašovatel:
ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart, DE;

(72) Původce:
Goerlach Alfred, Kusterdingen, DE;

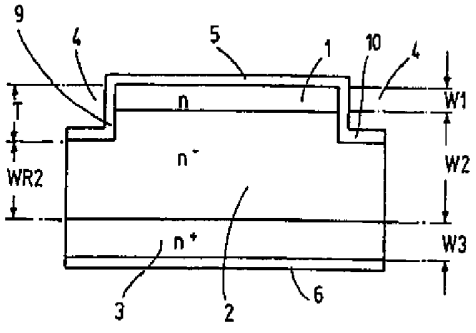
(74) Zástupce:
Matějka Jan JUDr., Národní 32, Praha, 11000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

Dioda s polovodičovým substrátem uspořádaným mezi dvěma kovovými elektrodami a způsob její výroby

(57) Anotace:

Dioda je provedena se substrátem uspořádaným mezi dvěma kovovými elektrodami (5, 6), který je v první zóně (3) silně dotován, aby tvořil ohmický přechod k první elektrodě (6), a v druhé zóně (1) je slabě dotován na stejný typ vodivosti, aby tvořil usměrňující přechod k druhé elektrodě (5). obě zóny (1, 3) jsou odděleny třetí zónou (2) polovodičového substrátu, která je dotována na stejný typ vodivosti, avšak slaběji než druhá zóna (1). Druhá zóna (1) je uzavřena mezi druhou elektrodou (5) a třetí zónou (2). při výrobě diody se na povrchu třetí zóny (2) vytvoří druhá zóna (1) se stejným typem vodivosti.



CZ 2002 - 6 A3

20.02.02

01-3871-01-Ma

Dioda s polovodičovým substrátem uspořádaným mezi dvěma kovovými elektrodami a způsob její výroby

Oblast techniky

Vynález se týká diody se substrátem uspořádaným mezi dvěma kovovými elektrodami, který je v první zóně silně dotován, aby tvořil ohmický přechod k první elektrodě, a v druhé zóně je slabě dotován stejným typem vodivosti, aby tvořil usměrňující přechod k druhé elektrodě. Vynález se dále týká způsobu výroby této diody.

Dosavadní stav techniky

Polovodičové diody toho druhu, označované také jako Schottkyovy diody, jsou již dlouho známé. Vyznačují se malým poklesem napětí v propustném směru a krátkým časem vypínání, když na rozdíl od pn- nebo pin-diod nemusí být k potlačení toku proudu zmenšen minoritní nosič náboje.

Na obr. 4 je znázorněn jednoduchý příklad provedení takové diody. Na vysoce dotované zóně 3 se nachází slaběji dotovaná zóna 1. Na obou zónách je vždy nanesena tenká kovová vrstva, například z hliníku. Kovová vrstva na spodní straně substrátu tvoří první elektrodu 6, která je v ohmickém kontaktu se zónou 3 polovodičového substrátu umístěnou nad ní. Kovová vrstva na horní straně polovodiče představuje druhou elektrodu 5, která tvoří se zónou 1 kovový polovodičový kontakt s diodovou charakteristikou. První elektroda 6 představuje katodu a druhá elektroda 5 anodu diody.

20.02.02

Je-li takový konstrukční element provozován v závěrném směru, nastává při jistém mezním napětí, analogicky k jednostranně náhůému pn-přechodu, silné zvýšení závěrného proudu v důsledku lavinové multiplikace. Mezní napětí, při kterých nastává takové zvýšení proudu, jsou ovšem většinou zřetelně menší, než by se vzhledem k volenému dotování zóny 1 očekávalo. Odchylka spočívá obvykle ve faktoru 3. Základem pro to je, že na hranách elektrod 5, 6 nastává převýšení intenzity pole. Proto začíná lavinová multiplikace na okraji konstrukčního elementu. Důsledkem toho je, že diody s konstrukcí znázorněnou na obr. 1 ukazují již pod průrazným napětím vysoké závěrné proudy. Při lavinovém průrazu nastávají na diodě vysoké ztrátové výkony, protože se veškerý průrazový proud koncentruje na tuto oblast. Proto jsou diody s jednoduchou stavbou znázorněnou na obr. 1 nevhodné jako elementy k omezování napětí.

Známým řešením tohoto problému je konstrukce znázorněná na obr. 5. Tato je například známá z publikace B.J. Baliga, Power Semiconductor Devices, PWS Publishing Company, Boston, USA, 1995. Zde je do n-dotované zóny 1 přídavně nanesena prstencovitě obíhající p-dotovaná vrstva 7. Anoda 5 je nyní vytvořena pomocí kroků obvyklých v planární technice tak, že je na jedné straně kontaktována n-dotovanou druhou zónou 1 a p-dotovanou vrstvou 7, a že na druhé straně přiléhá vnější okraj anody 5 na oxidickou vrstvu 8 na povrchu polovodičového substrátu. Obíhající p-dotovaná vrstva 7 je označena jako (Guard) ochranný prstenec. Tímto způsobem je dosaženo zmenšení okrajové intenzity pole. Lavinový průraz se nyní již neděje přednostně na okraji, nýbrž je rozdělen stejnoměrně přes povrch druhé zóny 1 uvnitř ochranného prstence. Protože nevznikají lokální průrazy pod požadovaným průrazovým mezním napětím, může být Schottkyova dioda s ochranným prstencem použita k omezení napětí.

20.02.02

Výroba takové diody je ovšem spojena se zvýšeným nákladem. Výroba ploché slabě dotované zóny, jako je zóna 1, na výše dotované zóně, jako je zóna 3, je nákladná, protože musí být obecně použit epitaxiální způsob. Následně musí být strukturován a uložen ochranný prstenec 7 a musí být strukturována oxidická vrstva 8, aby poté konečně mohla být nanesena anoda 5 v požadovaném tvaru.

Podstata vynálezu

Výše uvedený úkol splňuje dioda se substrátem uspořádaným mezi dvěma kovovými elektrodami, který je v první zóně silně dotován, aby tvořil ohmický přechod k první elektrodě, a v druhé zóně je slabě dotován stejným typem vodivosti, aby tvořil usměrňující přechod k druhé elektrodě, podle vynálezu, jehož podstatou je, že obě zóny jsou odděleny třetí zónou polovodičového substrátu, která je dotována stejným typem vodivosti slaběji než druhá zóna, a že druhá zóna je uzavřena mezi druhou elektrodou a třetí zónou.

Vhodnou volbou rozměrů a koncentrací dotování jednotlivých zón lze zajistit, že průrazové napětí na přechodu z druhé elektrody k třetí zóně je větší než k silněji dotované druhé zóně. Proto je, při dosažení průrazového napětí této druhé zóny, okrajová intenzita pole na okraji druhé elektrody dotýkajícím se třetí zóny menší než v její oblasti dotýkající se druhé zóny, takže se lavinový průraz děje jen ve druhé zóně.

Známý ochranný prstenec a potřebné procesní kroky k jeho výrobě proto mohou odpadnout. Protože jsou pro diodu potřebné jen zóny se stejným typem vodivosti, může se vystačit jen s jediným dotovacím prostředkem.

20.02.02

S výhodou jsou rozměry a dotování voleny tak, že (spočítané) průrazové napětí v oblasti kontaktu mezi druhou elektrodou a třetí zónou je alespoň třikrát tak velké, než mezi druhou elektrodou a druhou zónou.

Podle prvního příkladu provedení je druhá zóna vyvýšena nad povrchem třetí zóny a druhá elektroda překrývá kloboukovitou druhou zónu a má obvodový lem dotýkající se třetí zóny. Taková dioda může být vyrobena například postupem zhotovení, u kterého je nejdříve vyrobena druhá zóna na celém povrchu třetí zóny polovodičového substrátu a je následně lokálně odstraněna, aby byl lokálně uvolněn povrch třetí zóny.

Toto lokální odstranění může zahrnovat naříznutí kotoučovou pilou nebo také maskovací a leptací způsob.

Podle druhého provedení může být povrch diody také planární a druhá zóna může být uložena ve tvaru ostrůvku na třetí zónu, a druhá elektroda je rovinná a dotýká se třetí zóny v okrajové oblasti. Taková dioda může být vyrobena například ostrůvkovitým nanesením dotovacího prostředku na povrch polovodičového substrátu dotovaného koncentrací třetí zóny a difundováním dotovacího prostředku.

Aby se zlepšil kontakt mezi elektrodami a polovodičovým substrátem, je s výhodou nejméně jedna elektroda umístěna na povrchu polovodičového substrátu zbaveného oxidu. K odstranění oxidu nacházejícího se přirozeným způsobem na polovodičovém krystalu přichází v úvahu zpracování povrchu naprašováním (Sputtern), ohřevem v ultravysokém vakuu nebo vhodným leptáním. Zpracování naprašováním, například ionty argonu, je jednoduché a

20.02.02

účelné zejména pak, když mají být elektrody následně vyrobeny také naprašováním kovu na polovodičový substrát.

Přehled obrázků na výkresech

Další znaky a přednosti vynálezu vyplývají z následujícího popisu příkladů provedení se zřetelem vztahu k obrázkům. Na výkresech znázorňuje

obr. 1, 2 a 3 vždy v řezu struktury polovodičových diod podle vynálezu a

obr. 4 a 5, o nichž již byla zmínka, analogické řezy obvyklých Schottkyových diod.

Na obr. 1 je schematicky znázorněna dioda podle vynálezu v řezu. Na silně n-dotované (n^+) takzvané první polovodičové zóně 3 tloušťky W3 se nachází slabě dotovaná (n^-) takzvaná třetí zóna 2 tloušťky W2. Přitom je tloušťka W3 s výhodou menší než W2. Z výrobních hledisek je výhodné, když se umožní výroba první zóny difundováním atomů dotace povrchů do n^- dotovaného substrátu, kdežto výroba slabě dotované tenké vrstvy na silněji dotovaném podkladu by vyžadovala použití nákladných epitaxiálních způsobů.

Na zóně 2 se nachází středně silně n-dotovaná takzvaná druhá zóna 1 s tloušťkou W1. Ta představuje spolu s tenkou kovovou vrstvou anody 5 vlastní Schottkyův kontakt znázorněné diody. Zóna 1 je ve své tloušťce a dotaci vytvořena tak, že je dosaženo požadované závěrné napětí UZ.

Na všech okrajích substrátu je vyříznuto prohloubení 4 s hloubkou T. Toto prohloubení protíná druhou zónu 1 a dosahuje až k slabě n-dotované třetí zóně 2. Anoda 5 ve tvaru klobouku se rozkládá na celém povrchu zóny 1 a jejích vertikálních bočních

20.02.02

plochách 9 v místě prohloubení 4. Povrch třetí zóny 2 odkrytý prohloubením je překryt lemem 10 klobouku.

Pokovená vrstva na spodní straně druhé zóny 3 tvoří katodu 6 diody.

Redukovaná tloušťka WR2 v místě prohloubení 4 a dotování slabě n-dotované třetí zóny 2 jsou voleny tak, že průrazové napětí UZR pro přímý přechod mezi anodou 5 a třetí zónou 2 je alespoň třikrát tak velké, jako průrazové napětí UZ od anody 5 k druhé zóně 1. Na základě toho je, jak již bylo vysvětleno, intenzita pole v oblasti okrajů, to znamená na lemu 10 v místě bočních ploch 9, menší než ve středu anody a lavinový průraz zůstává omezen na druhou zónu 1.

Protože je mimo to, jinak než u pn-diody, podstatný podíl závěrného proudu Schottkyovy diody určen výškou bariéry (termoelektronový proud) a výška bariéry kromě toho závisí na závěrném napětí (zmenšení bariéry následkem zrcadlového nabíjení), je závěrný proud na okraji anody 5 na přechodu k třetí zóně 2 dokonce menší, než ve střední oblasti na druhé zóně 1.

Diodu znázorněnou na obrázku lze vyrobit následujícím způsobem. Vychází se z homogenně n^- dotovaného polovodičového substrátu, do jehož povrchu blízkých vrstev se dopraví dotovací atomy. Toto dopravení se může dít například nanášením povrchů dotujícími atomy a následujícím difundováním, čímž se obdrží rozdělení koncentrace s Gaussovým profilem, nebo také implantací iontů. Tímto způsobem se obdrží polovodičový substrát se dvěma nadotovanými povrchovými zónami, které odpovídají pozdějším zónám 1 a 3 hotové diody a střední zóna s nezměněnou dotovací koncentrací odpovídající třetí zóně 2.

20.02.02

V následujícím kroku se slaběji dotovaný z obou povrchů zón lokálně odstraní, až se třetí zóna, jejíž dotovací koncentrace zůstává nezměněna, obnaží. Toto lokální odstranění se může provést například pomocí kotoučové pily, kterou se vyřízne do povrchu substrátu větší počet drážek, mezi kterými zůstanou ostrůvkovitě vyvýšené oblasti s vyšším dotováním.

Aby se zlepšily vlastnosti Schottkyových kontaktů nanesených na tento povrch, může se na řezání pilou navázat leptáním polovodičové plochy. Tím se odstraní její povrch narušený naříznutím krystalické struktury, a obnaží se pod ním ležící oblast krystalu, která zůstává neporušená.

Výroba prohloubení se může uskutečnit také jinými způsoby jako snad mokrým chemickým leptáním nebo leptáním plynnou fází při použití odpovídající maskovací techniky.

Před nanesením elektrod 5 a 6 se může navíc provést vhodné zpracování povrchu substrátu, například leptáním v kyselině fluorovodíkové (HF) nebo ohřevem v ultravysokém vakuu, aby se odstranil oxid který se vždy nachází přirozeným způsobem na povrchu substrátu a vytvořily se tak lepší vlastnosti povrchu pro Schottkyův kontakt.

Následně se substrát na obou površích opatří kovovou vrstvou. K tomu se s výhodou použije naprašovací způsob, protože ten umožňuje před nanesením kovu odtrhávání přirozené vrstvy oxidu v tom místě, například ionty argonu. Po nanesení kovových vrstev následuje obvyklé rozdělení substrátu do jednotlivých konstrukčních elementů. K tomu se, podobně jako k lokálnímu odstranění, použije s výhodou kotoučová pila, kterou se substrát rozřízne vždy ve středu

20.02.02

předtím naříznutých prohloubení na kostky (Dicing). Pilový list k rozdělení substrátu je zřetelně užší než pilový list, který je použit k naříznutí prohloubení 4. Po rozdělení substrátu se obdrží struktura znázorněná v řezu na obr. 1.

V konkrétním početním příkladu se má vycházet z výroby Schottkyovy diody z křemíku s omezovacím napětím 48 voltů. Do substrátu s homogenním dotováním 1,8 x $10^{15}/cm^3$ a s tloušťkou vrstev W1 + W2 + W3 120 μm se prostřednictvím nanášení a difuze nanesou do zóny 1 (přední strana) a 3 (zadní strana) dotovací materiály. Tak se v zónách 1 a 3 obdrží dotovaný profil v Gaussově tvaru. Pro n-dotovanou druhou zónu 1 je volena povrchová koncentrace 1,075 x $10^{16}/cm^3$, pro n^+-dotovanou první zónu 3 povrchová koncentrace 1 x $10^{20}/cm^3$. Difuzní délka obnáší v obou případech 17 μm. Hloubka T prohloubení 4 obklopujícího druhou zónu 1 obnáší 35 μm. Šířka prohloubení 4 před jednocením jednotlivých stavebních elementů obnáší cca 100 μm. Elektrody 5 a 6 sestávají vždy z vrstveného systému, který lze pájet, s vrstvami z Cr, NiV a Ag s tloušťkami vrstev asi 80, 150, popřípadě 80 nanometrů. K oddělování diod se použije úzký pilový list široký například 40 μm, takže prohloubení 4 a v něm odkrytý, kovem pokrytý povrch třetí zóny 2 zůstává zachovaný.

Povrch, na kterém jsou ostrůvkovité druhé zóny 1 odděleny mezilehlými oblastmi třetí zóny 2, může být také docílen planárním strukturováním. Příklad provedení je znázorněn na obr. 2. Zde mají n-dotovaná druhá zóna 1 a n^--dotovaná třetí zóna 2 společný rovinný povrch, na kterém anoda 5 pokrývá celou druhou zónu 1 a část povrchu třetí zóny 2 v jejích okrajových oblastech 11. Funkce tohoto provedení je stejná jako v případě obr. 1. Dotované profily pro zóny 1 a 3 mohou být voleny tak, jsou popsány shora ve spojení s obr. 1. Přitom může být volena tloušťka slabě dotované zóny dokonce ještě

20.02.02

něco menší (pro průrazové napětí UZ 48 voltů musí být W1 + W2 větší než 8μm). Důležité je, že anoda 5 přečnívá ve všech směrech přes bočně difundovanou druhou zónu 1, takže okrajové oblasti 11 na povrchu třetí zóny 2 tvoří prstenec obíhající plně druhou zónu 1.

Třetí příklad Schottkyovy diody podle vynálezu je znázorněn na obr. 3. Odpovídá prakticky provedení podle obr. 2. Navíc je zde na okraji polovodičového substrátu ještě k dispozici vrstva 8 izolátoru, například z SiO_2, na které se rozkládá okraj anody 5. Proto dochází při tomto provedení k redukci intenzity pole vysoce ohmickou třetí zónou 2 a na okraji navíc ještě k efektu magnetorezistoru.

Zde popsané diody a postupy výroby, zejména oné podle obr. 1, jsou vhodné pro výrobu diod s křemíkem, zejména ale také s karbidem křemičitým jako polovodičovým materiálem. SiC diody toho druhu jsou obzvláště zajímavé pro nasazení při vysokých teplotách a vysokých napětích (> 50 voltů). Při napětích toho druhu lze obvyklé diody z křemíku na základě jejich vysokých závěrných proudů a závěrných ztrát jen těžko použít. Karbid křemičitý je zde na základě svého nízkého koeficientu difúze dotovaných atomů vhodnější jako polovodičový materiál. Tyto nízké koeficienty difúze ztěžují ale současně zpracování tohoto materiálu, neboť ztěžují nebo brání dotování nanášením dotovacího prostředku na povrch polovodičového substrátu a difundování téhož. Při výrobě Schottkyovy diody z karbidu křemičitého se strukturou znázorněnou na obr. 1 jsou proto zóny 1 a 2 naneseny na SiC substrát prostřednictvím epitaxie. Výroba prohloubení 4 se přitom může dít například prostřednictvím mokrého leptání na bázi plynů obsahujících fluor.

20.02.02

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Dioda se substrátem uspořádaným mezi dvěma kovovými elektrodami (5, 6), který je v první zóně (3) silně dotován, aby tvořil ohmický přechod k první elektrodě (6), a v druhé zóně (1) je slabě dotován stejným typem vodivosti, aby tvořil usměrňující přechod k druhé elektrodě (5), **vyznačující se tím**, že obě zóny (1, 3) jsou odděleny třetí zónou (2) polovodičového substrátu, která je dotována stejným typem vodivosti slaběji než druhá zóna (1), a že druhá zóna (1) je uzavřena mezi druhou elektrodou (5) a třetí zónou (2).

2. Dioda podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že průrazové napětí mezi druhou elektrodou (5) a třetí zónou (2) je alespoň třikrát tak vysoké jako mezi druhou elektrodou (5) a druhou zónou (1).

3. Dioda podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že druhá zóna (1) je vyvýšená nad povrchem třetí zóny (2) a že druhá elektroda (5) kloboukovitě překrývá druhou zónu (1) a má obvodový lem (10) dotýkající se třetí zóny (2).

4. Dioda podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že druhá zóna (1) je vytvořena planárně a ostrůvkovitě na povrchu třetí zóny (2), a že druhá elektroda (5) je rovinná a dotýká se třetí zóny (2) v oblasti okraje (11).

5. Dioda podle jednoho z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že vrstva (8) izolátoru je vytvořena na povrchu třetí zóny (2) obklopující druhou zónu (1), a že druhá elektroda (5) se svým okrajem dotýká vrstvy (8) izolátoru.

20.02.02

6. Dioda podle jednoho z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že alespoň jedna z elektrod (5, 6) je nanesena na povrch polovodičového substrátu zbavený oxidu.

7. Dioda podle jednoho z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že polovodičový substrát je Si nebo SiC.

8. Způsob výroby diody, zejména podle jednoho z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že na povrchu třetí zóny (2) polovodičového substrátu, který obsahuje silně dotovanou první zónu (3) a třetí zónu (2) se slabým dotováním a stejným typem vodivosti, se vyrobí druhá zóna (1) se stejným typem vodivosti a silnějším dotováním než třetí zóna (2) a na povrch se nanese kovová elektroda (5), která mezi sebou a třetí zónou (2) uzavírá druhou zónu (1).

9. Způsob podle nároku 8, **vyznačující se tím**, že druhá zóna (1) se vyrobí na celém povrchu třetí zóny (2) a návazně se lokálně odstraní, aby byla třetí zóna (2) opět lokálně odkryta.

10. Způsob podle nároku 8, **vyznačující se tím**, že druhá zóna (1) se vyrobí epitaxiálním růstem vrstvy.

11. Způsob podle nároku 9 nebo 10, **vyznačující se tím**, že lokální odstranění zahrnuje naříznutí kruhovou pilou.

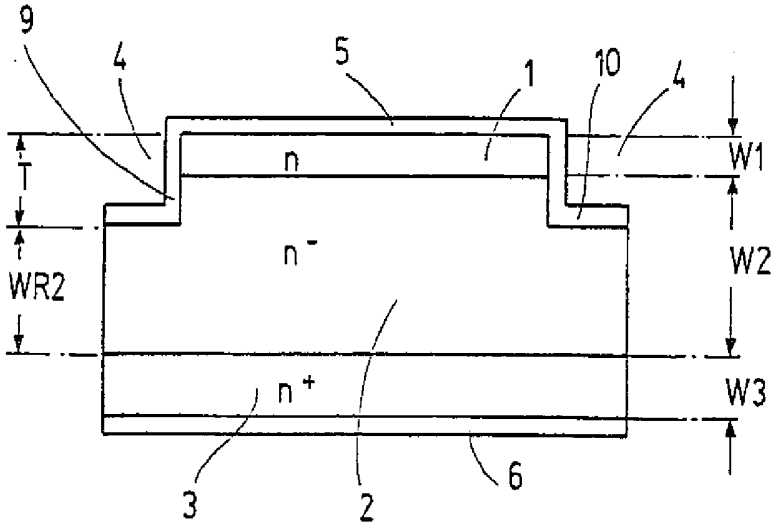
12. Způsob podle nároku 9 nebo 10, **vyznačující se tím**, že lokální odstranění zahrnuje maskování a leptání.

13. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 12, **vyznačující se tím**, že elektrody (5, 6) se nanesou naprašováním.

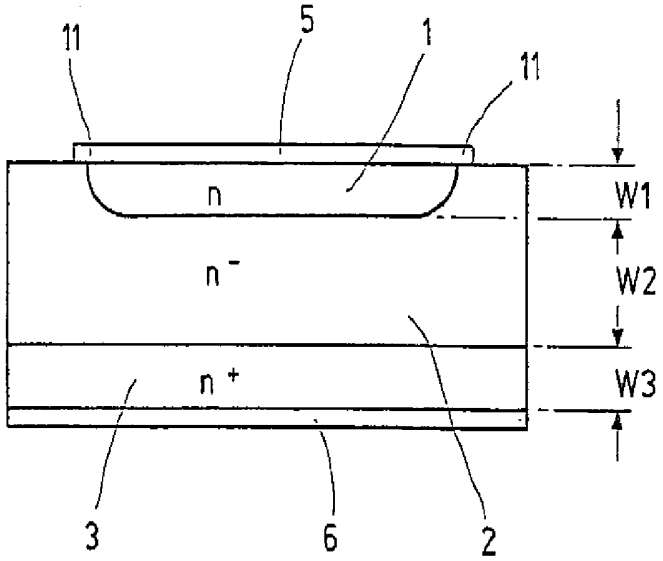
14. Způsob podle jednoho nároků 8 až 13, **vyznačující se tím**, že polovodičový substrát se před nanesením elektrod (5, 6) zbaví oxidu naprašováním.

15. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 14, **vyznačující se tím**, že polovodičový substrát se před nanesením elektrod (5, 6) ohřeje v ultravysokém vakuu, aby se jeho povrch zbavil oxidu.

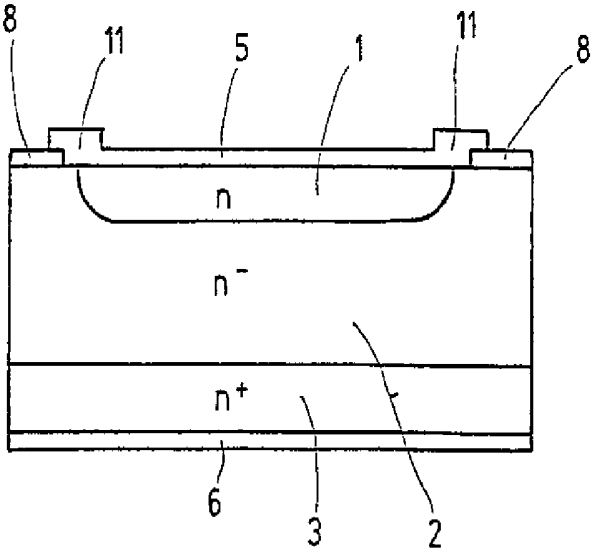
16. Způsob podle jednoho z nároků 8 až 15, **vyznačující se tím**, že polovodičový substrát se před nanesením elektrod (5, 6) leptá.



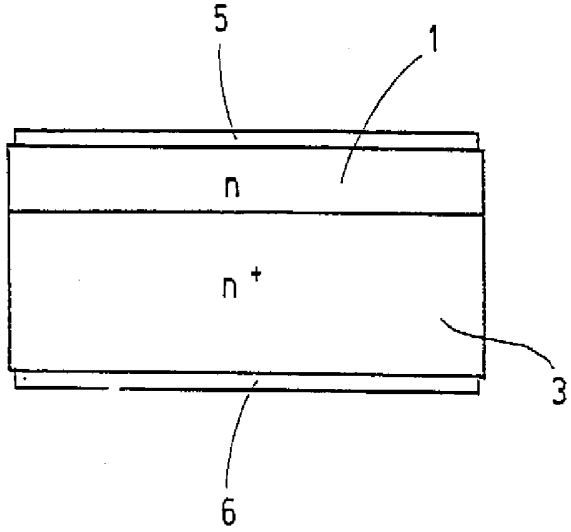
Obr.1



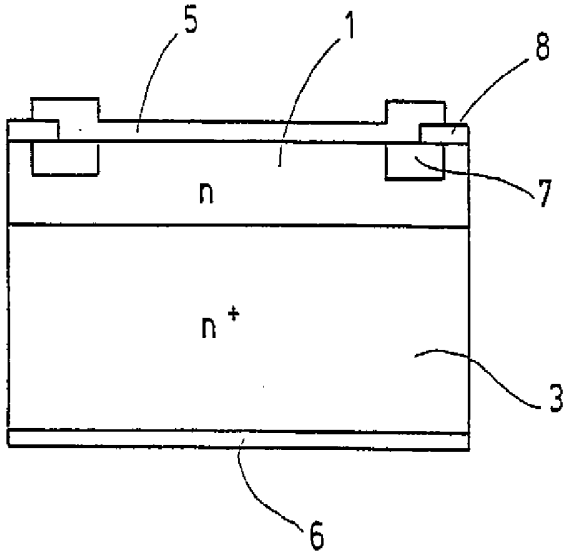
Obr.2



Obr.3



Obr.4



Obr.5