



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

201 113

(11) (B1)

H 01 L 33/00
(51) Int. Cl.³ H 01 L 29/91

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 06 04 76
(21) PV 2262 - 76
(32)(31)(33) právo přednosti od 15 04 75

/WP H 01 1 / 185 436 /

Německá demokratická republika

(40) Zveřejněno 29 02 80

(45) Vydáno 01 03 83

(75)

Autor vynálezu BEISTER GERT, dipl. phys.,
HAUBOLD MICHAEL, dipl. ing.,
HEISE GERFRIED, dipl. chem.,
ROGGE KLAUS, dr. dipl. ing., BERLÍN (NDR)

(54) Polovodičové zařízení, zejména polovodičová dioda se zlepšenou charakteristikou propustnosti

1

Vynález se týká polovodičového zařízení, zejména polovodičové diody se zlepšenou charakteristikou propustnosti pro použití jako polovodičový usměrňovač nebo polovodičový vysílač záření a polovodičový ukazatel vysílající záření.

Je známo, že v přechodu PN existuje v důsledku difúze děr z oblasti P do oblasti N a elektronů z oblasti N do oblasti P v rovnovážném stavu difúzní napětí

$$V_D = - \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2},$$

přičemž značí N_A koncentraci akceptorů v oblasti P, k Boltzmannovu konstantu, T teplotu, q elementární náboj, N_D koncentraci donorů na straně N a n_i teoretickou koncentraci elektronů a děr čistého ideálního polovodiče bez dótování. Toto difúzní napětí V_D je pólováno tak, že proudy jím vyvolané působí proti difúzním proudům (plus na oblasti N, minus na oblasti P). Při připojení vnějšího napětí U , které je pólováno opačně vzhledem k difúznímu napětí V_D , se zmenší potlačení difúzních proudů - jde o propustný směr. Při stejném pólování jako u difúzního napětí V_D zesílí vnější napětí pro potlačování difúzních proudů - jde o závěrný směr. V nejjednodušším případě, který postačí k popisu vynálezu, je možno vyjádřit charakteristiku proud - napětí, určenou difúzními proudy,

rovnicí

$$j = j_s \left(\frac{qU}{e k T} - 1 \right)$$

přičemž značí j_s proudovou hustotu nasycení, která závisí jen na vlastnostech polovodiče, a nikoliv na připojeném napětí. Čím větší je šířka mezi valenčním pásmem a vodivým pásmem polovodiče, tím menší jsou hodnoty j_s a n_i . Malá teoretická koncentrace elektronů a děr čistého ideálního polovodiče bez dótování n_i znamená však velké difúzní napětí V_D . Z toho vyplývá, že charakteristika propustnosti přechodů PN v polovodičích s velkou šířkou mezi valenčním pásmem a vodivým pásmem dosáhne teprve při vyšších napětích toku stejných hodnot proudové hustoty j , jako v polovodičích s menší šířkou mezi valenčním pásmem a vodivým pásmem. Tak zvané prahové napětí, tj. napětí, resp. potřebné napětí na polovodičové diodě na přechodu PN v propustném směru pro proudové hustoty větší nebo rovné $5 \times 10^{-3} \text{ A cm}^{-2}$, je tedy určeno v podstatě druhem použitého polovodičového materiálu.

Je známo, že polovodičové usměrňovače, jejichž působení spočívá na vytvoření přechodu PN, nebo diody vysílající záření potřebují pro provoz napětí, které je určeno druhem polovodičového materiálu a prakticky se může málo ovlivnit volbou koncentrace dótování N_A a N_D .

U polovodičových usměrňovačů, u kterých usměrňovací účinek není vyvolán přechodem PN, nýbrž přechodem Schottkyho, je známo dosáhnout zlepšené charakteristiky propustnosti, tedy zvýšení propouštěného proudu při malých propustných napětích výhodnou volbou materiálových kombinací, například druhem materiálu a odpovídajícími technologickými kroky pro výrobu přechodu Schottkyho.

Nedostatkem známých polovodičových zařízení s přechody PN, zejména diod, je to, že mají poměrně vysoká napětí v propustném směru a velký úbytek napětí potřebný pro provoz v propustném směru. Zmenšení takovýchto energetických ztrát znamená rozšíření možností použití pro diody vysílající záření v těch přístrojích, jejichž potřeba energie se musí kryt z baterie, například v hodinkách, kapesních počítačích, atd., a současně to znamená zvýšení jejich účinnosti.

Účelem vynálezu je vyvinout polovodičové zařízení s podstatně menším napětím a energetickou ztrátou, zejména pro použití jako ukazatelů vysílajících záření v náramkových hodinkách, které se musí provozovat s monočláanky.

Úkolem vynálezu je zlepšit charakteristiku propustnosti polovodičového uspořádání, zejména polovodičových diod, vysílajících světlo a polovodičových usměrňovačů odpovídajícím prostorovým uspořádáním pásem prostorových nábojů na přechodu PN.

Tento úkol se řeší polovodičovým uspořádáním, u kterého v důsledku prostorového uspořádání pásem prostorových nábojů na přechodu PN nepůsobí proti napětí, přimpenému zvenku na polovodičové zařízení v propustném směru, původní difúzní napětí V_D , nýbrž na

samotném polovodičovém zařízení se provádí kompenzace původního difúzního napětí V_D . Tím se dosáhne strmějšího nárůstu propouštěného proudu při propustném napětí, nežli je tomu u jednoduchého přechodu.

Podle vynálezu se tohoto vhodného prostorového uspořádání pásem prostorových nábojů na přechodu PN dosáhne strukturami N^+P^+N nebo strukturami P^+N^+P . Vysoce dótované přechody N^+P^+ , popřípadě P^+N^+ se při zatížení těchto struktur v propustném směru (při strukturách N^+P^+N je plus na N^+ , minus na N ; při strukturách P^+N^+P je minus na P^+ , plus je na P) provozují v závěrném směru. Difúzní napětí vysoce dótovaných přechodů je ve strukturách směřováno proti difúznímu napětí prostorově navazujících P^+N , popřípadě N^+P přechodů.

Podle vynálezu jsou vysoce dótované přechody N^+P^+ , popřípadě P^+N^+ , vytvořeny tak, že při provozu těchto přechodů v závěrném směru, tedy při provozu celé struktury N^+P^+N , popřípadě P^+N^+P v propustném směru, je závěrný proud vysoce dótovaných přechodů v podstatě tunelovým proudem. Vysoce dótované přechody působí tedy jako přechody tunelových diod. Závěrné napětí struktury je určeno přechody P^+N , popřípadě N^+P , navazujícími na vysoce dótované přechody. Zlepšení charakteristiky propustnosti se dosáhne tím, že tunelový proud vysoce dótovaných přechodů ve střední oblasti, například oblast P^+ struktury N^+P^+N nebo oblast N^+ struktury P^+N^+P , vytvářejí přídavné majoritní nosiče. U známých přechodů PN bez vysoce dótovaného přídavného pásma, například u přechodů P^+N nebo N^+P , nastává se tokem takový stav, že difúzní napětí se v důsledku prostorového posunutí rozdělení elektronů a děr tokem proudu zmenší o hodnotu napětí připojeného zvenku, při zanedbání jiných napěťových ztrát. U struktur podle vynálezu se proudovým zatížením struktury v propustném směru vytvoří ve střední oblasti přídavně nosiče nábojů stejného typu jako dótováním, to znamená díry v oblasti P^+ struktury N^+P^+N a elektrony v oblasti N^+ struktury P^+N^+P . Tím se zmenší úbytek difúzního napětí na celé struktuře a tím i na přechodu P^+N , resp. N^+P . Tento jev se však může změnit; malá dotace iontů vyvolá nejdříve nepatrné zmenšení difúzního napětí na struktuře, toto pak, při konstantním vnějším napětí, další zvýšení proudu, což znamená přídavné zvětšení děr v oblasti P^+ struktury N^+P^+N a elektronů v oblasti N^+ struktury P^+N^+P , atd. Konečně se nastává stav, při kterém je napěťový úbytek na struktuře určen v podstatě jen ještě napěťovým úbytkem na vysoce dótovaném přechodu P^+N^+ , resp. N^+P^+ , a na zbývajícím pásmu prostorového náboje v nízkodótované oblasti P , resp. N , jakož i ztrátami na odporech dráhy. Při uvážení vzájemného pólování těchto napětí dostane se pro celou strukturu N^+P^+N , resp. P^+N^+P , při zatížení proudem menší prahové napětí nežli pro jednoduché přechody P^+N , resp. N^+P .

Je účelné vyráběti polovodičové zařízení podle vynálezu dotací iontů. Zejména je výhodné vytvořit takto vysoce dótované vrstvy, zlepšující charakteristiku propustnosti, t.j. u přechodu P^+N před oblastí P^+ vrstvou N^+ , u přechodu N^+P před oblastí N^+ vrstvou P^+ . Tento způsob dovoluje vytvářet úzké prostorové rozměry potřebné pro tunelo-

vý účinek vysoce dótovaných přechodů. Dotace iontů dovoluje také zhotovit přídatnou vysoce dótovanou vrstvu co nejtenčí, což je například důležité pro diody vysílající záření pro zabránění přídatných ztrát záření, vytvářeného na přechodu P^+N , resp. N^+P , absorpcí v této vrstvě.

Přednosti polovodičového zařízení podle vynálezu spočívají ve zmenšení napětí v propustném směru a ve snížení energetických ztrát, které se vyskytují při provozu polovodičových diod, jako polovodičových usměrňovačů a polovodičových vysílačů záření. Pro polovodičové vysílače záření se tím zejména zvýší účinnost.

Současně se dosáhne zvýšení stability těchto konstrukčních prvků, neboť jejich tepelné zatížení se v důsledku snížení energetických ztrát rovněž sníží. V důsledku malých napětí v propustném směru se oblast použití těchto polovodičových zařízení zvětší, například polovodičové vysílače záření se stanou vhodnějšími pro použití v náramkových hodinkách.

Vynález bude v dalším textu blíže objasněn na příkladu provedení za pomoci připomenutých výkresů, kde je schematicky znázorněno na obr. 1 polovodičové zařízení podle vynálezu, na obr. 2 prostorové rozdělení koncentrace dótování v polovodičovém zařízení a na obr. 3 schéma prostorového průběhu pásu pro polovodičové zařízení.

Pro příklad provedení byla zvolena struktura N^+P^+N . Souřadnice $\underline{x}$ (obr. 1) označuje vzdálenost kolmo k povrchu polovodičového tělíska do objemu tohoto tělíska. Povrch leží při $x = 0$. Výroba struktur N^+P^+N podle obr. 1 s prostorovým rozdělením koncentrace dótování podle obr. 2 se provádí iontovou dótací akceptorů, přičemž koncentrace akceptorů $\underline{N}_A$ se vytváří až do hloubky $\underline{x}_2$ v polovodičovém tělísce s koncentrací dótování $\underline{N}_{D2}$. Nato se opět iontovou dótací donorů v této vrstvě vytvoří přídatná koncentrace donorů až do hloubky $\underline{x}_1$. Koncentrace $\underline{N}_{D1}$ a $\underline{N}_A$, jakož i prostorové rozšíření přechodu N^+P^+ při $\underline{x}_1$ se přitom zvolí tak, aby při připojení napětí U na strukturu N^+P^+N v propustném směru (kladný pól na N^+ , záporný pól na N) tento přechod N^+P^+ fungoval jako tunelová dioda a proud vyvolaný tímto napětím U v tomto přechodu N^+P^+ je tedy v podstatě tunelový proud $\underline{I}_{nT}$. Koncentrace $\underline{N}_{D1}$ a $\underline{N}_A$, jakož i prostorové rozšíření přechodu N^+P^+ se známým způsobem zvolí jako u tunelových diod.

Obr. 3, ve kterém je schematicky znázorněn prostorový průběh pásu, tedy energie elektronů E v závislosti na hloubce $\underline{x}$, ukazuje funkci struktury N^+P^+N při pólování v propustném směru.

Celá struktura N^+P^+N má výsledné difúzní napětí $\underline{V}_D$, které je rovno rozdílu difúzního napětí $\underline{V}_D$ přechodu P^+N a difúzního napětí $\underline{V}_{D1}$ přechodu N^+P^+ . Protože přechod N^+P^+ působí jako tunelová dioda, teče při malých hodnotách připojeného napětí U již velký závěrný proud přechodu N^+P^+ , který je v podstatě tunelovým proudem $\underline{I}_{nT}$. Přídatná koncentrace děr, vznikající v důsledku tohoto proudu v oblasti P^+ , kompenzuje svým působením prostorového náboje částečně difúzní napětí $\underline{V}_D$, přičemž již vysvětlený jev se může využít zesilujícím způsobem. Celkový proud propouštěný strukturou N^+P^+N

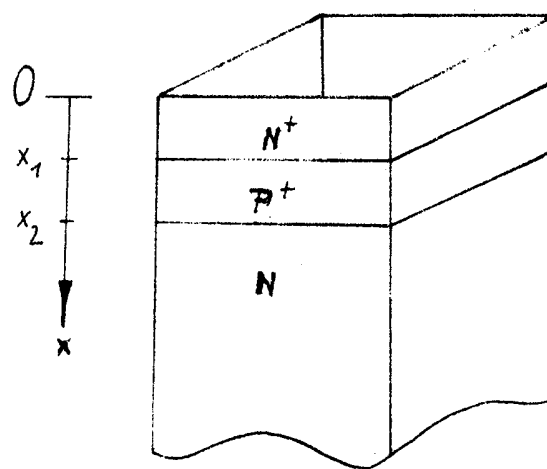
je roven I_{nT} . V oblasti P^+ a v oblasti N pokračuje jako difúzní proud děr a elektronů u nejčastějších druhů polovodičů, hlavně však jako difúzní proud elektronů I_{nD} (rekombinace s děrami v oblasti P^+ je na obr. 3 schematicky znázorněna souřadnicí I_{nR}). Kompenzující účinek koncentrací děr, vytvořených prostřednictvím I_{nT} v oblasti P^+ na difúzní napětí V_D , vede celkově, v rámci vzájemného protipůsobení napětí na přechodu N^+P^+ a P^+N , ke zlepšení charakteristiky propustnosti.

Prostorové rozšíření oblasti N , P^+ a N^+ je tak velké, že je možné vytvoření pásem prostorového náboje přechodu N^+P^+ a P^+N . Další požadavky vyplynou ze speciálních případů použití; u diod vysílajících záření musí být například x_1 , tedy rozšíření oblasti N^+ , co nejmenší, aby se odstranily přídavné ztráty emise záření v důsledku absorpce a rozměr oblasti P^+ , tedy $x_2 - x_1$, musí být tak velký, aby se mohla provést co nejúplnější rekombinace elektronů difúzního proudu I_{nD} a děrami uvnitř oblasti P^+ .

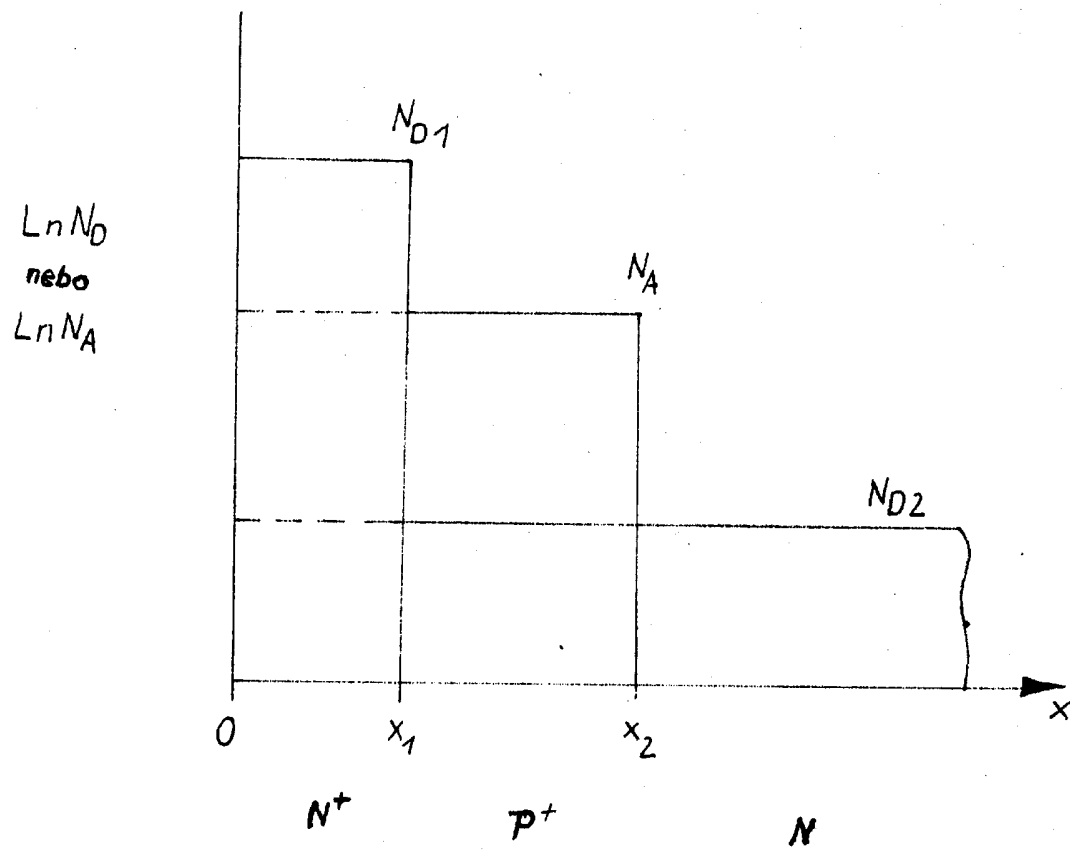
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Polovodičové zařízení, zejména polovodičová dioda se zlepšenou charakteristikou propustnosti pro použití jako polovodičový usměrňovač nebo polovodičový vysílač záření, vyznačující se tím, že má strukturu $N^+P^+N^+$, respektive P^+N^+P s rozdílně dótovanými vrstvami, přičemž při odpovídající koncentraci dótování a geometrických rozměrech vysoce dótovaných přechodů N^+P^+ , respektive P^+N^+ , je proud při provozu těchto přechodů při závěrném zatížení tunelový proud.
2. Polovodičové zařízení podle bodu 1, vyznačující se tím, že nejméně jedna z rozdílně dótovaných vrstev je zhotovena dotací iontů.

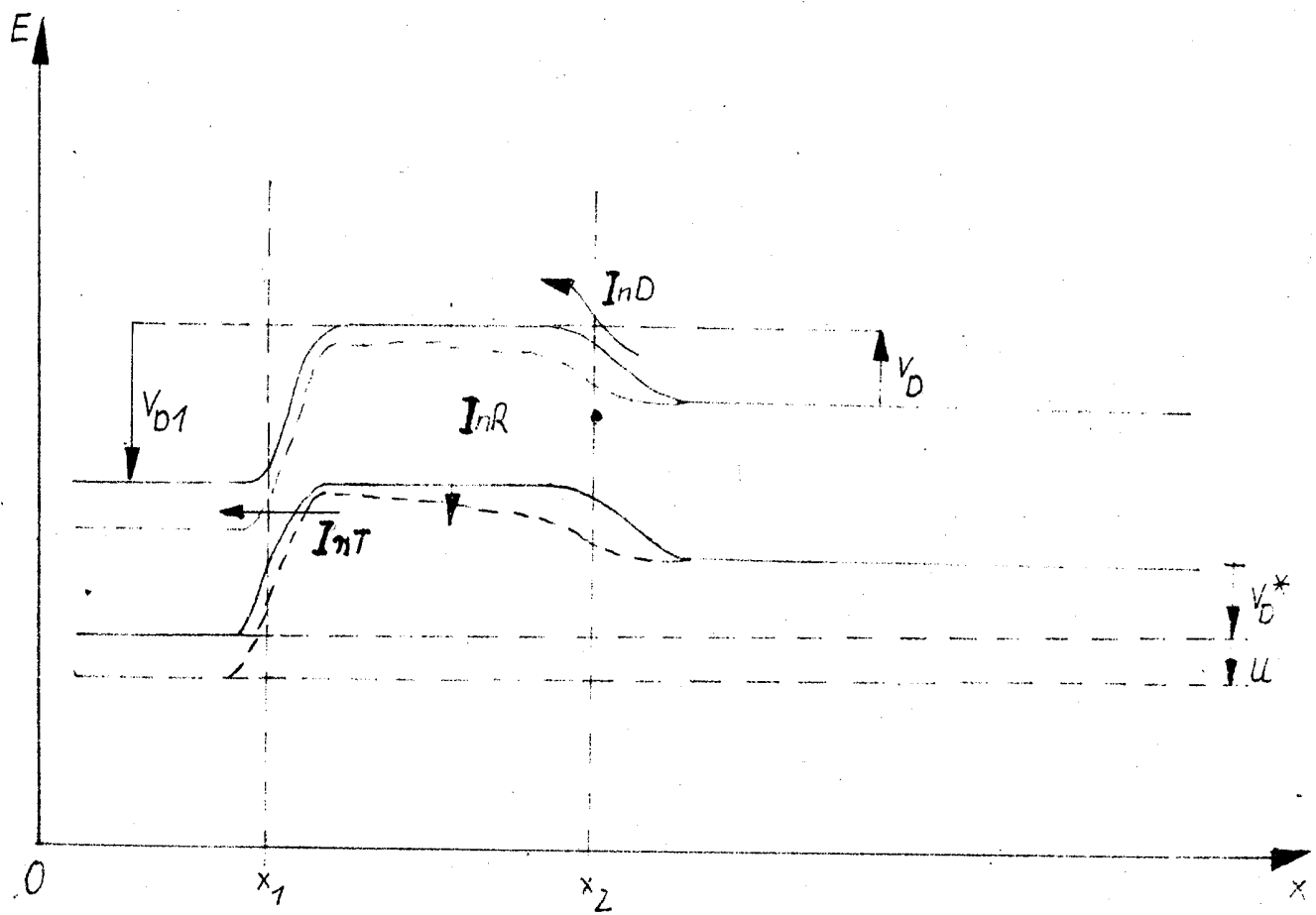
3 výkresy



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3