



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVEDČENÍU

248248
(11) (B1)

[51] Int. Cl.⁴
H 01 L 21/02

(22) Prihlášené 21 10 85
(21) (PV 7510-85)

(40) Zverejnené 12 06 86

(45) Vydané 15 07 88

[75]

Autor vynálezu

DOLEŽAL IVAN ing. CSc., BRNO, DANIŠKA VLADIMÍR ing.,
PIEŠŤANY

[54] **Spôsob vytvorenia testovacej štruktúry pre meranie koncentračného profilu prímiesí v polovodičoch**

1

2

Na polovodičovom substráte sa vytvorí implantáciou a následným žiňaním postupnosť koncentračných oblastí, ktoré sa kryjú určujúcou vrstvou pre meranie laterálneho koncentračného profilu.

Spôsob vytvorenia testovacej štruktúry môže nájsť široké uplatnenie v mikroelektronike pri vývoji a výrobe polovodičových súčiastok a integrovaných obvodov, a to pre meranie laterálneho a hĺbkového koncentračného profilu implantovaných alebo difundovaných prímiesí.

Vynález sa týka spôsobu vytvorenia testovacej štruktúry pre meranie laterálneho a hĺbkového koncentračného profilu implantovaných alebo difundovaných prímiesí v polovodičoch.

Znalosť koncentračného profilu implantovaných a difundovaných prímiesí v polovodiči je dôležitou súčasťou technológie výroby polovodičových súčiastok a integrovaných obvodov. Okrem hĺbkového koncentračného profilu je v rade aplikácií dôležitá i znalosť laterálneho koncentračného profilu.

Známe sú nasledujúce metódy merania koncentračného profilu. Metóda merania vrstvom odporu a Hallovej konštanty pri postupnom zleptávaní vrstiev, napr. anodickou oxidáciou sa spravidla používa na diskretných testovacích čípkach. Meranie koncentračného profilu je časovo náročné. Metóda spravidla využíva elektrickú izoláciu meranej oblasti od substrátu pomocou prechodu PN. Elektrické meranie vrstvom odporu sa stáva nepresné pri vzraste odporu meranej vrstvy a zväčšení zvodových prúdov. Metóda merania odporu šírenia v kombinácii so šikmým výbrusom je veľmi rýchla a využiteľná v širokom rozsahu koncentrácií. Táto metóda je však relatívne veľmi nepresná, vyžaduje nutnosť korekcií a častú kalibráciu meracieho hrotu.

Nevhodný prítlak hrotu a prepichovanie meranej povrchovej vrstvičky zavadzajú často ďalšie nepresnosti v určení koncentrácie prímiesí v danom bode dotyku meracieho hrotu a plochy šikmého výbrusu. Metóda merania závislosti kapacity na napätí využíva posuvu hranice depletačnej oblasti prechodu PN alebo Shottkyho diódy v závislosti na napätí záporne polarizovaného prechodu.

Použitie tejto metódy je obmedzené na oblasti, do ktorých je možno rozšíriť depletačnú oblasť ešte pred elektrickým prierezom prechodu. Táto metóda nedovoľuje meranie koncentračného profilu až k povrchu polovodiča. Metóda sa niekedy používa v spojení so zleptávaním vrstiev. Rádioaktívne metódy využívajú implantáciu rádioaktívnych iónov, jadrové reakcie pri ožarovaní ľahkými izotopmi, protónmi a deutónmi alebo aktívnu analýzu, kedy vzniká izotop prímiesí pri ožarovaní neutrónmi.

Koncentračný profil sa vyhodnocuje analýzou energetického rozloženia spektra iónov, napr. α -častic, ktoré sa uvoľňujú pri rozpade rádioaktívneho prvku alebo meraním množstva rádioaktívnych prímiesí v zleptávaných vrstvách. Rádioaktívne metódy v špeciálnych prípadoch sú veľmi presné.

Nevyužívajú sa však bežne, pretože vyžadujú drahé prístrojové zariadenia, sú časovo náročné a rizikové s ohľadom na rádioaktívne prvky. Rádioaktívne metódy sú obmedzené možnosťou prípravy rádioaktívneho izotopu a merajú všetky atómy daného izotopu bez ohľadu na elektrickú akti-

vitú. Metóda spätného rozptylu využíva ožarovanie meranej oblasti monoenergetickými protónmi, alebo α -časticami. Rozbor energetického spektra odrazených častíc dáva kvantitatívnu informáciu o objemovom rozložení atómov v substráte.

Hlavné obmedzenie tejto metódy spočíva v tom, že cudzie atómy musia mať podstatne väčšie hmotnostné číslo, než atómy substrátu a metóda nie je teda vhodná napr. pre detekciu bóru v kremíkovom substráte. Metóda je prístrojovo veľmi náročná a spracovanie nameraných výsledkov je možné iba počítačom. Metóda nerozlišuje elektricky aktívne prímiesi. Pri meraní koncentračného profilu metódou hmotovej spektroskopie sekundárnych iónov je povrch meranej vzorky postupne odprašovaný iónmi, časť odprašených iónov je elektricky nabitá a analyzovaná pomocou hmotového spektrometra.

Výhodou metódy je vysoká citlivosť a možnosť merania v širokom rozsahu koncentrácií. Metóda používa zložité technické zariadenia a presnosť merania je závislá na zabezpečení konštantnej rýchlosti odprašovania vrstiev, rovinnosti odprašovania, zachovania konštantnej ionizácie prímiesí a pod. Metóda leptania alebo dekorácie prechodu PN v kombinácii so šikmým výbrusom je bežne využívaná pre meranie hĺbky prechodu PN implantovaných alebo difundovaných vrstiev.

Pokiaľ sa implantácia alebo difúzia urobí súčasne na viacerých vzorkách s rôznou úrovňou základnej koncentrácie, je možné meraním hĺbky prechodu PN na jednotlivých vzorkách určiť koncentračný profil. Hĺbka prechodu PN v každej vzorke zodpovedá vzdialenosti od povrchu vzorky, kde sa koncentrácia meraného profilu rovná koncentrácii substrátu danej vzorky. Metóda predpokladá, že implantovaná prímies je opačného typu vodivosti ako substrát vzoriek. Táto metóda, ktorá využíva diskretné vzorky, je relatívne zložitá a nepresná, vrchol koncentračného profilu je určený len v hraniciach koncentrácií meraných vzoriek a pri nízkych koncentráciách nemusí dekórovaný alebo leptaný prechod PN zodpovedať metalurgickému prechodu. Alternatívna metóda zviditeľnenia prechodu PN je použitie elektrónového rastrovacieho mikroskopu. Spoločným nedostatkom týchto metód je ich nevhodnosť pre meranie laterálneho koncentračného profilu.

Uvedené nevýhody v podstatnej miere odstraňuje spôsob vytvorenia testovacej štruktúry pre meranie koncentračného profilu prímiesí v polovodičoch, ktorého podstata podľa vynálezu spočíva v tom, že na polovodičový substrát sa postupne naimplantujú oblasti s definovanou postupnosťou koncentrácií, ktoré sa následne žihajú, pričom súčin difúzneho koeficientu implantovaných prímiesí a doby žihania je aspoň de-

saťkrát väčší, ako súčin difúzneho koeficientu a doby žihania pre merané koncentračné profily. Implantované koncentračné oblasti sú rozdielného typu vodivosti ako meraný koncentračný profil a kryjú sa určujúcou vrstvou pre meranie laterálneho koncentračného profilu.

Hlavnou prednosťou vynálezu je, že umožňuje meranie predovšetkým laterálneho, ale tiež hĺbkového koncentračného profilu implantovaných alebo difundovaných prímiesí v polovodičoch v širokom rozsahu koncentrácií, a to zvládnutými metodikami merania prechodov PN.

Testovacia štruktúra je navrhnutá ako jednočipový štandard a umožňuje porovnateľné merania v rôznych technologických podmienkach a na rôznych pracoviskách. Zvlášť výhodné je meranie testovacej štruktúry v rastrovom elektrónovom mikroskope metódou EBIC. Pri použití mikroskopu s programovateľným goniometrom je reálne vyhodnotiť celý koncentračný profil pomocou osobného počítača v dobe niekoľko minút s relatívne vysokou presnosťou.

Rastrovací elektrónový mikroskop patrí v súčasnosti k základnému vybaveniu pracovísk pre štúdium polovodičových štruktúr a uvedené meranie koncentračného profilu metódou EBIC sa môže stať štandardným meraním.

Na priloženom výkrese je na obr. 1 znázornená testovacia štruktúra **1** s dvomi koncentračnými oblasťami **2** a **3**. Koncentrácia prímiesí v oblasti **2** je menšia než koncentrácia prímiesí v oblasti **3**. Určujúca vrstva je tvorená oxidovou maskou **4**. Na pripojenom výkrese je na obr. 2 znázornený lom **5** testovacej štruktúry **1**, napr. na čiare **6**. Implantovaný alebo difundovaný koncentračný profil vytvára pod okrajom oxidovej masky **4** a pod povrchom testovacej štruktúry **1** mimo oxidovú masku **4** prechody PN **7**, **7'** a **8**, **8'**.

Prechody PN **7**, **7'**, resp. prechody PN **8**, **8'** sa vytvoria v danej vzdialenosti od okraja oxidovej masky **4**, resp. od povrchu testovacej štruktúry **1** v mieste, kde koncentrácia implantovaných oblastí **2**, **3** sa rovná koncentrácii meraného koncentračného profilu s rozdielnym druhom prímiesí. Meraním na čiare **9**, resp. **10**, **10'** sa lokalizujú prechody PN **11**, resp. **12** a určí sa ich vzdialenosť od okraja oxidovej masky **4**, resp. vzdialenosť od povrchu testovacej štruktúry **1** meraná na lome štruktúry **5**.

Lokalizáciu prechodov PN možno vyšetrovať metódou EBIC v rastrovom elektró-

novom mikroskope. Hĺbkové merania prechodov PN možno alternatívne vykonať na nezlomenej testovacej štruktúre **1** s využitím zmeny energie dopadajúcich elektrónov. S obmedzenou presnosťou je možné prechody PN detekovať známymi rutinnými metódami, napr. dekoráciou alebo zviditeľnením prechodov PN leptaním.

Príklad

Realizovaná experimentálna testovacia štruktúra pre meranie koncentračného profilu P-typy prímiesí je kremíkový čip o rozmeroch 6×6 mm. Postupnosť koncentračných oblastí sa vytvorí dvanástimi implantáciami fosforu v rozsahu dávok rádu 10^{11} cm^{-2} až 10^{15} cm^{-2} , do kremíkoveho substrátu typu vodivosti N s orientáciou (100) o mernom odpore $3 \Omega\text{cm}$. Jednotlivé implantácie sa vykonávajú cez implantačnú masku pozostávajúcu z dvoch obdĺžnikov o rozmeroch $100 \mu\text{m} \times 4 \text{ mm}$ a $200 \mu\text{m} \times 4 \text{ mm}$. Pri posuve implantačnej masky o $100 \mu\text{m}$ zabezpečuje väčší implantačný obdĺžnik súčet dvoch po sebe idúcich implantácií. Po 40. hod žihania pri 1200°C sa vytvoria koncentračné oblasti v rozsahu koncentrácií rádu 10^{15} cm^{-3} až 10^{18} cm^{-3} s hustotou delenia 6 hodnôt na dekádu.

V dôsledku uvedeného žihania je koncentrácia prímiesí v jednotlivých oblastiach dobre definovaná s malým gradientom do hĺbky vrstvy a nemení sa pri bežnom tepelnom spracovaní meraných koncentračných profilov. Počet koncentračných oblastí na testovacej štruktúre je daný požiadavkou hustoty meraných hodnôt v príslušnom rozsahu koncentračného profilu.

Koncentračné oblasti sa následne kryjú oxidovou maskou, ktorá v každej koncentračnej oblasti vytvára sústavu oxidových pásikov a medzier rovnakej šírky. Pre meranie laterálnych koncentračných profilov rôznej dĺžky sa volia šírky pásikov a medzier v postupnosti $2 \mu\text{m}$ až $10 \mu\text{m}$ s krokom $1 \mu\text{m}$.

Vynález môže nájsť široké uplatnenie v mikroelektronike pri vývoji a výrobe polovodičových súčiastok a integrovaných obvodov, a to pre meranie laterálneho a hĺbkového koncentračného profilu implantovaných alebo difundovaných prímiesí. Možnosť výroby veľkého počtu týchto testovacích štruktúr v jednom výrobnom cykle zabezpečuje identitu ich parametrov a použitie s jedným ciachovacím listom.

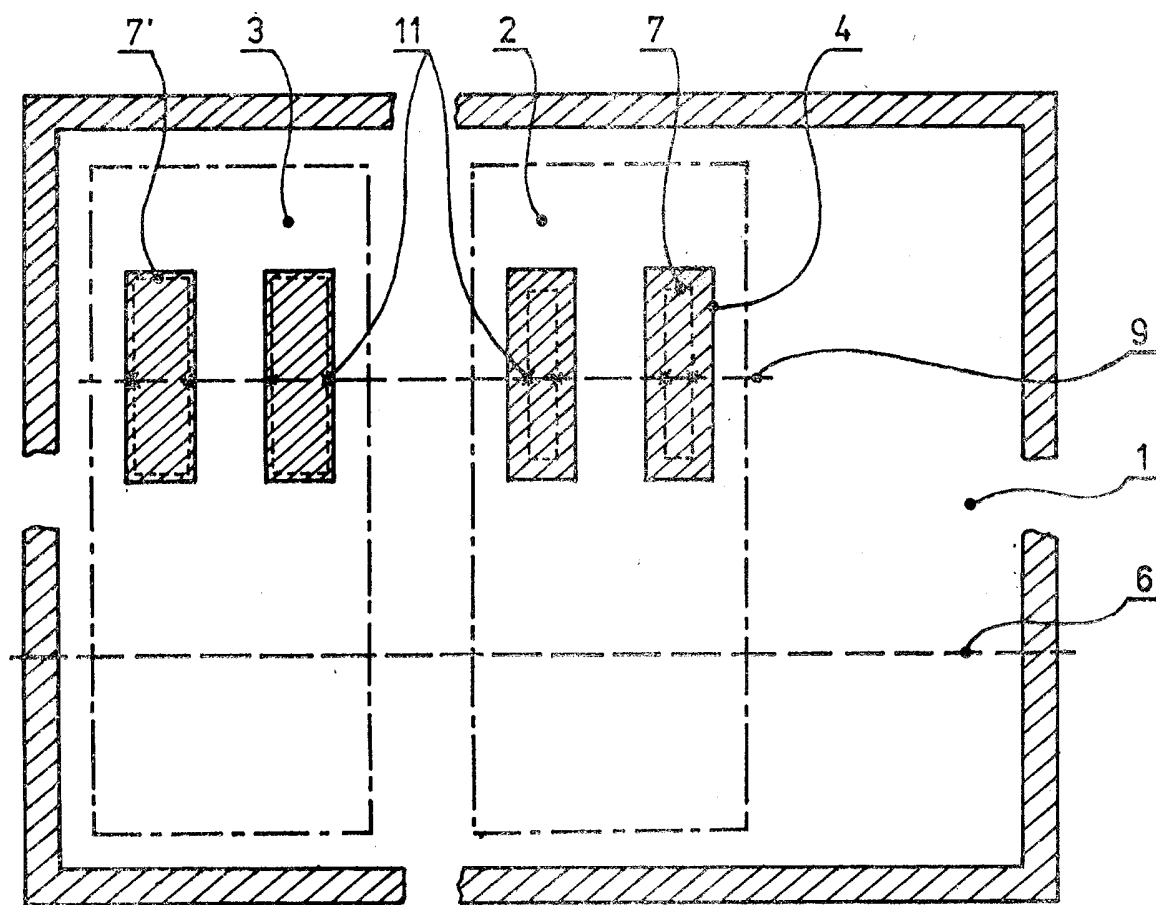
PREDMET VYNÁLEZU

1. Spôsob vytvorenia testovacej štruktúry pre meranie koncentračného profilu prímiesí v polovodičoch vyznačený tým, že na polovodičový substrát sa postupne naimplantuujú oblasti s definovanou postupnosťou koncentrácií, ktoré sa následne žihajú za podmienky, že súčin difúzneho koeficientu implantovaných prímiesí a doby žihania je aspoň desaťkrát väčší ako súčin difúzneho

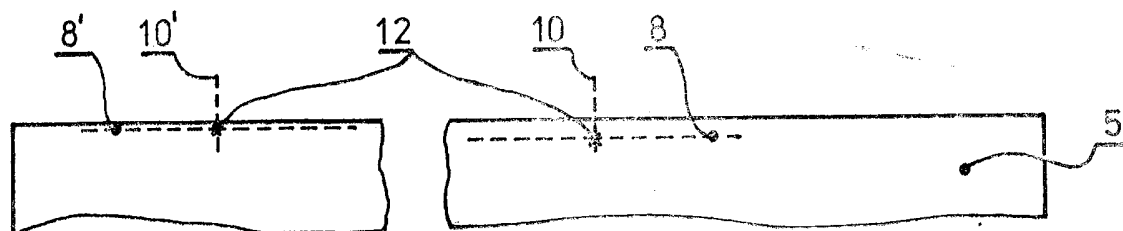
koeficientu a doby žihania pre merané koncentračné profily.

2. Spôsob vytvorenia testovacej štruktúry podľa bodu 1 vyznačený tým, že implantované koncentračné oblasti sú rozdielneho typu vodivosti ako meraný koncentračný profil a kryjú sa určujúcou vrstvou pre meranie laterálneho koncentračného profilu.

1 list výkresov



Obr. 1



Obr. 2