

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

30 488

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01T 1/24 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2017-33390**
(22) Přihlášeno: **08.02.2017**
(47) Zapsáno: **14.03.2017**

- (73) Majitel:
prof. RNDr. Bruno Sopko, DrSc., Praha 13 -
Stodůlky, CZ
Ing. Vít Sopko, Ph.D., Praha 13 - Stodůlky, CZ
- (72) Původce:
Ing. Vít Sopko, Ph.D., Praha 13 - Stodůlky, CZ
prof. RNDr. Bruno Sopko, DrSc., Praha 13 -
Stodůlky, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Marie Smrčková, patentový zástupce,
Velbříkova 10, 160 00 Praha 6

- (54) Název užitého vzoru:
**Dozimetrická dioda pro dozimetrii rychlých
neutronů**

CZ 30488 U1

Dozimetrická dioda pro dozimetrii rychlých neutronů

Oblast techniky

Technické řešení se týká dozimetrické diody pro dozimetrii rychlých neutronů, zhotovené rozčleněním křemíkové destičky s protilehlými rovinnými plochami a bočními stěnami.

5 Dosavadní stav techniky

BG 111 032 A (publ. 29. 3. 2013) se zabývá strukturou kovového metalického křemíkového izolátoru, obsahujícího nanokrystaly křemíku, pro detekci ionizujícího záření a jeho výrobou. Konkrétně se jedná křemíkové nanokrystaly struktury $\text{Al/c-Si SiO}_2/\text{Si-SiO}_2/\text{SiC}>2\text{typ}/\text{Al}$. Tyto struktury jsou určeny pro dozimetrii jako alternativa k senzorům záření na bázi MIS konstrukcí. Způsob výroby těchto MIS struktur zahrnuje postupné nanesení vrstvy oxidu křemíku, oxidu křemičitého a suboxidu na krystalovém substrátu typu p(n)-Si(100) o odolnosti 1,0 (4 až 6) Ohm.cm, při pokojové teplotě. Tato struktura tří vrstev se zpracovává při teplotě 1000 °C. Poté se při pokojové teplotě opatří Al kontakty na zadní straně substrátu a na oxidu křemičitém (MIS). Tyto struktury obsahují krystaly křemíkového substrátu a vrstvu ležících na druhé straně, a to v posloupnosti: termální SiO_2 vrstva, vrstva SiO_2 obsahující nanokrystaly a vrstva práškového SiO_2 , získaného leptáním HF. Vynález uvádí jako výhodu těchto struktur kombinaci tepelného růstu SiO_2 a vakuové techniky, která nevyžaduje použití toxických a výbušných plynů a tyto struktury jsou kompatibilní se současnými mikroelektronickými technologiemi. Za nevýhodu lze považovat očekávanou nereprodukovatelnost výsledné vrstvy nanokrystalů křemíku. Nevýhodou také je, že svodový proud uvedených nárokováných struktur kondenzátoru bude nepříznivý právě vlivem nanokrystalů křemíku.

AO 226 803 (publ. 1. 9. 1985) popisuje způsob výroby dozimetrických diod. Na jednu stranu základní křemíkové destičky se implantují ionty B a na druhou stranu ionty P. Následně se křemíková destička rozřeže na jednotlivé systémy, které se potom žijí při teplotě 750 až 850 °C po dobu 2 až 100 hodin. Jako výhodu uvádí vynález reprodukovatelnost výroby, shodu počátečních parametrů a s možností zvětšení tloušťky základní křemíkové destičky. Nevýhodou je poměrně dlouhé a komplikované zpracování a žíhání jednotlivých destiček zvlášť.

AO 223 526 (publ. 1. 5. 1984) se zabývá způsobem difuze P a N vrstev při výrobě křemíkových dozimetrických diod. Způsob se provádí tak, že vrstva vodivosti typu P se vytváří difuzí bóru a vrstva vodivosti typu N se vytváří difuzí fosforu. V příkladu provedení je upřesněno, jak probíhá difuze. Na jednu neoznačenou stranu křemíkové desky byla provedena difuze bóru z reakční fáze rozkladem dekaboranu v proudě nosného plynu při teplotě 910 °C. Difuze fosforu se provedla z reakční fáze rozkladem oxichloridu fosforečného v proudě nosného plynu. Výhody uvedené ve vynálezu se shodují s výhodami předchozího vynálezu. Nevýhodou vynálezu je komplikovaná a poměrně zdlouhavá technologie získání křemíkových dozimetrických diod. Nevýhodou je, že implantace se provádí zvlášť na každém povrchu křemíkové desky.

AO 226 141 (publ. 15. 4. 1986) popisuje křemíkovou dozimetrickou diodu, obsahující křemíkovou destičku vodivosti typu N, popřípadě P, o tloušťce větší než 1,5 mm s plochou přechodu menší než $I^2/2$, kde I je tloušťka křemíkové destičky. Výhodou tohoto řešení je měření malých fluencí od rychlých neutronů. Nevýhodou řešení je poměrně komplikovaná zdlouhavá příprava k získání takovéto diody a pouze nízká výtěžnost dozimetrických diod.

AO 263 809 (publ. 15. 7. 1989) popisuje způsob výroby křemíkových dozimetrických diod s vysokou citlivostí. Na křemíkovou destičku tloušťky 2,5 cm a měřeného odporu 100 $\Omega\cdot\text{cm}$ s hladkým povrchem se naimplantuje z jedné strany B, popřípadě Al nebo TI o dávce větší než 1.10^{16} iontů. cm^{-2} s energií 160 KeV a do druhé strany se naimplantuje P nebo Sb, popřípadě As o stejné dávce a energii. Poté následuje oživení křemíkových desek žíháním při teplotě 785 až 1000 °C s následujícím pomalým chlazením po dobu 72 hodin. Jako výhodu uvádí vynález vyšší citlivost diody vůči rychlým neutronům. Nevýhodou může být nejednotnost parametrů dozimetrických diod.

Měření dávek rychlých neutronů se v případě osobní dozimetrie používají TLD dozimetry či IZ komory. Všechny tyto prvky obsahují konvertory, které konvertují neutrální částice na nabitě. Společnou nevýhodou dosavadních vyráběných dozimetrů je neuváděný parametr, a to nutnost použití konvertorů pro filmovou dozimetrii, k převedení neutronů na nabitě částice, které by bylo zapotřebí identifikovat.

Podstata technického řešení

Uvedené nevýhody se odstraní nebo omezí dozimetrickou diodou pro dozimetrii rychlých neutronů, zhotovenou rozčleněním křemíkové destičky s protilehlými rovinnými plochami a bočními stěnami, podle tohoto technického řešení. Podstata tohoto technického řešení spočívá v tom, že křemíková destička je zhotovena z materiálu Si Fz monokrystalu s krystalografickou orientací (111) nebo (100) s odchylkou $\pm 50^\circ$, typem vodivosti N a o tloušťce křemíkové destičky (1) v rozmezí 2480 až 2520 μm . Křemíková destička je opatřena na jedné své ploše vrstvičkou s vodivostí P a na protilehlé ploše vrstvičkou s vodivostí N. Obě vrstvičky vykazují koncentraci příslušného iontu 10^{15} až 10^{17} cm^{-3} a rezistivitu v rozmezí 85 až 115 Ohm.cm . Přitom vnější povrch obou vrstviček má povrchovou koncentraci příslušného iontu větší než 10^{20} cm^{-2} . Na takto získaných vrstvičkách jsou vytvořeny metalické kontakty z jednoho z kovů ze skupiny zahrnující Ti, Ni a Cr.

Hlavní výhodou dozimetrické diody podle tohoto technického řešení je, že umožňuje integrální měření dávek od rychlých neutronů a umožňuje kdykoliv vyčíst tyto informace z dozimetrické diody za pomoci měřicího zařízení, které umožňuje proudový impuls 25 mA s délkou 40 ms. Senzitivita dozimetrické diody je vysoká vzhledem k dosavadnímu stavu a odpovídá hodnotám do 3Gy na IV/Gy pro dávku od rychlých neutronů, velkou předností tohoto technického řešení je získání kontrolovatelného dozimetru a jeho snadný odečet. Materiál křemíkové destičky Si Fz monokrystalu s krystalografickou orientací (111) nebo s krystalografickou orientací (100) s odchylkou $\pm 5^\circ$, typem vodivosti N je optimálním dlouhodobě odzkoušeným řešením. Materiál Si Fz je vyroben technologií letmé zóny (float zone). Nárokováná krystalografická orientace (111) nebo (100) s danou odchylkou zajišťuje kvalitní provedení dozimetrických diod a zajišťuje reprodukovatelnost difuzního procesu a iontové implantace. Nárokováná tloušťka křemíkové destičky 2480 až 2520 μm je nejvhodnější, protože zajišťuje vysokou citlivost dozimetrů a kvalitní parametry dozimetrických diod. Když by měla křemíková destička větší tloušťku, parametry výsledných diod se zhorší. Menší tloušťka křemíkové destičky nezajistí citlivost diody. Vrstvička s vodivostí P a N je optimální volbou z hlediska kvalitních elektrických parametrů dozimetrické diody, jako je např. velikost napětí u diody pro dopředný proud 25 mA okolo 2 V. Koncentrace P nebo N v rozsahu 10^{15} až 10^{17} cm^{-3} zabezpečují dostatečné množství pro výslednou funkci diody. Povrch obou těchto vrstviček má zvýšenou povrchovou koncentraci P nebo N, a to nad 10^{20} cm^{-2} , což přispívá k vytvoření velmi kvalitních elektrických kontaktů. Rezistivita (měrný odpor) v rozmezí 85 až 115 Ohm.cm obou vrstviček je optimální pro spolehlivou funkci diody. Metalické kontakty jednoho z kovů ze skupiny zahrnující Ti, Ni a Cr představují napojení křemíkové destičky na přívodní drátky dozimetru. Ti přispívá k dobré adhezi kontaktu s přívodními drátky. Ni je vhodný pro kvalitní pájení. Cr napomáhá též adhezi a je výborná jeho kombinace s Ni.

Ke zlepšení elektrických parametrů dozimetrické diody je výhodné, když mezi vrstvičkou s vodivostí P a metalickými kontakty je situována první mezivrstvička, obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Al, Ga, In, Tl a B. Dále je výhodné, když mezi vrstvičkou s vodivostí N a metalickými kontakty je situována druhá mezivrstvička, obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Sb, P, As. Toto opatření zajišťuje zkvalitnění připojení metalických kontaktů a zlepšuje adhezi.

Nad metalickými kontakty může být situována další třetí mezivrstvička obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Au a Pt. Třetí mezivrstvička zlepšuje nastavení parametrů dozimetru a odečtení odezvy rychlých neutronů

Dozimetrická dioda může být na volných křemíkových plochách opatřena pasivační vrstvičkou, představující ochrannou vrstvičku přímo na diodě ve formě SiO_2 .

Dozimetrická dioda může být vyrobena dvěma možnými, dále popsány a neomezujícími způsoby výroby podle tohoto technického řešení.

První způsob výroby dozimetrických diod pro dozimetrii rychlých neutronů spočívá v tom, že křemíková destička se vytvoří z materiálu Si Fz monokrystalu s krystalografickou orientací (111) nebo (100) s odchylkou $\pm 5^\circ$, typem vodivosti N, a o tloušťce křemíkové destičky 2480 až 2520 μm . Na křemíkovou destičku se působí, současně v jednom technologickém kroku, papírkovou difuzí s napuštěným dopantem fosforu pro jednu stranu a napuštěným dopantem boru B pro druhou stranu, současně, pro získání na jedné rovinné ploše vrstvičky s vodivostí P a na protilehlé ploše vrstvičky s vodivostí N. Papírková difuze se provádí do získání koncentrace obou vrstviček s koncentrací 10^{15} až 10^{17} cm^{-3} příslušného iontu P nebo N a do získání povrchové koncentrace příslušného iontu P nebo N větší než 10^{20} cm^{-2} a rezistivity v rozmezí 85 až 115 Ohm.cm . Papírková difuze se provádí zahříváním křemíkové destičky 1 rychlostí 20 K.min^{-1} až 100 K.min^{-1} po dobu 10 minut až 100 hodin na teplotu v rozmezí 900 až 1200 $^\circ\text{C}$ a pomalým chlazením rychlostí menší 2 K.min^{-1} na teplotu okolí. Takto získaná křemíková destička se následně zahřívá rychlostí 20 K.min^{-1} až 100 K.min^{-1} po dobu 10 minut až 1000 hodin do získání teploty vyhojení radiačních poruch. Potom se chladí rychlostí menší než 2 K.min^{-1} na teplotu okolí. Po vytvoření vrstviček s vodivostí P a N na protilehlých plochách křemíkové destičky, se na těchto vrstvičkách vytvoří metalické kontakty alespoň jednoho z kovů ze skupiny zahrnující Ti, Ni a Cr. Získaná křemíková destička se následně rozčlení na jednotlivé dozimetrické diody.

Hlavní výhodou tohoto způsobu výroby je využití papírkové difuze pro velké množství křemíkových destiček, které se vkládají mezi jednotlivé dopantem napuštěné papírky. Další předností je, že při tomto způsobu výroby lze hromadně nadifundovat více destiček a to současně pro obě plochy křemíkových destiček v jednom společném technologickém kroku, takže odpadají dosud používané dva technologické kroky difundování každé plochy zvlášť. Zahřívání a následné chlazení křemíkových destiček se může provádět pro větší množství křemíkových destiček najednou.

Podstata druhého možného a neomezujícího způsobu výroby dozimetrických diod pro dozimetrii rychlých neutronů spočívá v tom, že křemíková destička se vytvoří z materiálu Si Fz monokrystalu s krystalografickou orientací (111) nebo s krystalografickou orientací (100) s odchylkou $\pm 5^\circ$, typem vodivosti N, a o tloušťce křemíkové destičky 2480 až 2520 μm . Následně se působí iontovou implantací iontu boru na jedné rovinné ploše a poté iontu fosforu na protilehlé rovinné ploše, vždy s energií 100.10^3 eV až 3.10^3 eV . Působí se až do získání vrstvičky s vodivostí P na jedné ploše a protilehlé vrstvičky s vodivostí N na druhé ploše, o koncentraci 10^{15} až 10^{17} cm^{-3} příslušného iontu P nebo N, a až do získání povrchové koncentrace příslušného iontu P nebo N větší než 10^{20} cm^{-2} a rezistivity v rozmezí 85 až 115 Ohm.cm . Následně se takto získaná křemíková destička zahřívá rychlostí 20 K.min^{-1} až 100 K.min^{-1} po dobu 10 minut až 1000 hodin do získání teploty vyhojení radiačních poruch. Potom se chladí pomalou rychlostí menší než 2 K.min^{-1} na teplotu okolí. Po dosažení vrstviček s vodivostí P a s vodivostí N na protilehlých plochách křemíkové destičky, se na křemíkové destičce vytvoří metalické kontakty jednoho z kovů ze skupiny, zahrnující Ti, Ni a Cr. Nakonec se tato křemíková destička rozčlení na jednotlivé dozimetrické diody.

Hlavní výhoda způsobu výroby iontovou implantací je obdobná jako u předchozího způsobu, a to v tom, že obě plochy destičky jsou zpracovávány současně, odpadne krok žíhání jednotlivých destiček zvlášť, protože se může žíhat celá křemíková destička.

U obou těchto způsobů výroby následné rozčlenění křemíkové destičky na jednotlivé dozimetrické diody je prováděno až po pokovení obou ploch, takže tím odpadá několik technologických kroků dle dosavadního stavu techniky. U obou způsobů výroby se křemíkové destičky, po získání vrstviček s vodivými ionty P a N, zahřívají řízenou rychlostí a chladí se řízenou rychlostí z důvodů zachování doby životnosti menšinových nosičů proudu. Vyhojení radiačních poruch vzniklých v průběhu iontové implantace vyžaduje žíhání na teplotách kolem nebo vyšších než 1000 $^\circ\text{C}$, při nichž dochází k jejich vyhojení (vymizení).

Objasnění výkresů

Technické řešení je dále podrobně popsáno na příkladných provedeních a blíže osvětlen na připojených schematických výkresech, kde znázorňuje výřez křemíkové destičky

obr. 1 v axonometrickém pohledu,

5 obr. 2 v příčném řezu A-A z obr. 1,

obr. 3 v příčném řezu A-A z obr. 1 s rozčleněnými dozimetrickými diodami, přitom

obr. 4 schematicky znázorňuje dozimetrickou diodu s pasivační vrstvičkou.

Příklady uskutečnění technického řešení

Příklad 1

10 (Obr. 1, 2, 4)

Nejprve se zhotoví monokrystal křemíku speciální technologií tzv. letmé zóny (float zone), označovaný Si Fz, čímž se současně dosahuje požadovaná krystalografická orientace (111) nebo orientace (100) s odchylkou $\pm 5^\circ$. U takto získaného monokrystalu křemíku se následně připraví požadovaný typ vodivosti N legováním pomocí jaderných transmutací. Požadovaná vodivost je
 15 nutná z hlediska zvýšení odporu pro využití pro dozimetrii. Monokrystal křemíku se rozčlení na jednotlivé křemíkové destičky 1 v konkrétním příkladném provedení, buď válcovitého nebo kvádrotvitého tvaru s protilehlými paralelními rovinnými plochami 2, 3 a bočními stěnami 41, 42 (obr. 1, 2). Křemíková destička 1 pro účely dozimetrie se rozřeže na tloušťku 2480 až 2520 μm , v konkrétním příkladném provedení na tloušťku 2,5 mm. Plochy 2, 3 měly průměr kolem 7,5 cm.
 20 Křemíková destička 1 se následně známými postupy obrousí a případně následnými známými mechanicko-chemickými postupy vyleští na obou protilehlých plochách 2, 3 do rovinných hladkých povrchů.

Vlastnosti monokrystalu Si-Fz výrazně ovlivňují jak dobu životnosti minoritních nositelů náboje, tak i výsledné technologické procesy, které mají zásadní vliv na kvalitu konečného výrobku -
 25 dozimetrické diody 8 (obr. 4).

Do povrchu takto získaných hladkých protilehlých plochách 2, 3 se provede difuze P na jedné ploše 2 a borem na druhé protilehlé ploše 3, dále popsány neomezuujícími nároky způsoby, jimiž se získá křemíková destička 1, opatřená na jedné své ploše 2 vrstvičkou 5 s vodivostí P a na protilehlé ploše 3 vrstvičkou 6 s vodivostí N. Obě vrstvičky 5, 6 (obr. 2) musí vykazovat
 30 předem požadovanou koncentraci 10^{15} až 10^{17} cm^{-3} příslušného iontu P nebo N, povrchovou koncentraci příslušného iontu P nebo N větší než 10^{20} cm^{-2} a rezistivitu (měrný odpor) v rozmezí 85 až 115 Ohm.cm . Obě tyto předem požadované koncentrace a rezistivita jsou nutné z hlediska přesné a reprodukovatelné funkce dozimetrické diody 8.

V konkrétním příkladném provedení měly obě vrstvičky 5, 6 koncentraci příslušného iontu P nebo N hodnotu kolem 10^{16} cm^{-3} , koncentraci na vnějším povrchu kolem 10^{20} cm^{-2} a rezistivitu kolem 100 Ohm.cm .
 35

Na takto získaných vrstvičkách 5, 6 jsou vytvořeny známým postupem metalické kontakty 7 (obr. 2) z jednoho z kovů ze skupiny zahrnující Ti, Ni a Cr, čímž se získá polotovar pro získání dozimetrické diody 8.

40 V konkrétním příkladném provedení byla pro metalické kontakty 7 použita kombinace slitiny Cr-Ni. Je možno využít i Ti. Všechny tyto prvky Ti, Ni a Cr splňují požadavek na dobrou adhezi metalických kontaktů 7 k vrstvičce 5, 6.

Vlastnosti křemíkového materiálu ovlivňují jak dobu života minoritních nositelů náboje, tak i technologické procesy, které mají nezanedbatelný vliv na konečný výrobek.

Příklad 2

(Obr. 2)

Alternativním provedení křemíkové destičky 1 podle tohoto technického řešení odpovídá předchozímu příkladnému provedení s tím rozdílem, že mezi vrstvičkou 5 s vodivostí P a metalickými kontakty 7 je situována první mezivrstvička 10 (obr. 2), obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Al, Ga, In, Tl a B. Mezi vrstvičkou 6 s vodivostí N a metalickými kontakty 7 je situována druhá mezivrstvička 11 (obr. 2), obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Sb, P a As. Obě mezivrstvičky 10, 11 zlepšují díky nárokovaným prvkům adhezi metalických kontaktů 7 k vrstvičkám 5, 6.

Mezivrstvičky 10, 11 se mohou vytvořit, např. technologií vakuového napařování nebo vakuového naprašování příslušných kovů, respekt, jejich slitin.

V konkrétním příkladném uskutečnění křemíkové destičky 1 podle tohoto technického řešení byl použit pro mezivrstvičku 10 jako dopant B případně Al a na mezivrstvičku 11 byl použit dopant Sb.

Příklad 3

(Obr. 2)

Jiné alternativní provedení podle tohoto technického řešení, zlepšující odečet rychlých neutronů dozimetru, představuje uskutečnění, kdy mezi vrstvičkou 5, 6 s vodivostí P nebo N a metalickými kontakty 7, nebo mezi první a druhou mezivrstvičkou 10, 11 a metalickými kontakty 7, je situována třetí mezivrstvička 12 (obr. 2), obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Au a Pt.

Třetí mezivrstvička 12 byla v konkrétním příkladném provedení vytvořena technologií vakuového napařování Au při teplotě 700 °C. Au difunduje výborně.

Bylo by možno využít též vakuové naprašování Au nebo Pt nebo jejich slitin.

Příklad 4

(Obr. 4)

Další alternativní provedení křemíkové destičky 1 podle tohoto technického řešení odpovídá předchozím příkladným provedením s tím rozdílem, že dozimetrická dioda 8 je na volných křemíkových plochách, tedy mimo metalické kontakty 7 opatřena pasivační vrstvičkou 9 tvořenou SiO₂ (obr. 4). Pasivační vrstvička 9 představuje zároveň ochrannou vrstvičku proti nepříznivým vlivům okolí, a tím chrání i celou dozimetrickou diodu 8.

Pasivační vrstvička 9 byla v konkrétním příkladném provedení získána tak, že volné křemíkové plochy byly podrobeny plazmovému leptání ve speciálním zařízení známým způsobem po dobu 5 až 10 minut do získání pasivační vrstvičky 9.

Příklad 5

(Obr. 1, 2, 3, 4)

Dozimetrická dioda 8 pro dozimetrii rychlých neutronů se získá z křemíkové destičky 1, odpovídající příkladnému provedení 1, dále popsáním prvním způsobem při využití papírkové difuze.

Nejdříve je třeba dosáhnout hladkého povrchu křemíkové destičky 1 (obr. 1). Např., povrch křemíkové destičky 1 se mechanicky očistí, poté se opláchne nebo ponoří do saponátu a opláchne deionizovanou vodou. Další čištění povrchu se provádí např. v horké kyselině sírové aktivované peroxidem vodíku, poté se opláchne vodou a vysuší, např. odstředěním. Případně se může povrch křemíkové destičky 1 mechanicky obrousit a poté vyleptat vhodnou kyselinou.

Na takto získané hladké protilehlé rovinné plochy 2, 3 křemíkové destičky 1 se může deponovat neznázorněná vrstva SiO₂, např. metodou pyrolytického nanášení SiO₂ při teplotě kolem 400 °C, až se získá neznázorněná vrstvička minimální tloušťky 1,5 μm SiO₂, případně tloušťky až kolem

2,5 μm , která se může v průběhu růstu obohatit buď borem, nebo fosforem a slouží pro budoucí difuzní proces. Jedná se o známé provedení, které se nazývá solid-to-solid. Tyto neznázorněné vrstvičky slouží pro selektivní difuzi boru nebo fosforu.

5 Získaná křemíková destička 1 se v jednom technologickém kroku podrobí papírkové difuzi s napuštěným dopantem fosforu na jednu, např. horní plochu 2 a papírkové difuzi s napuštěným dopantem boru B na druhou protilehlou plochu 3 křemíkové destičky 1, přičemž se transmutuje Si^{30} na P^{31} . Tento technologický krok probíhá pro obě plochy 2, 3 křemíkové destičky 1 současně, velkou předností způsobu přípravy podle tohoto technického řešení pomocí papírkové difuze je, že se dají křemíkové destičky 1 opracovávat hromadně, a to tak, že se naskládají do sloupce, a na
10 každou plochu 2 nebo 3 destičky 1 se přiloží papírek s příslušným požadovaným dopantem. Tak se současně získají na jedné rovinné ploše 2 vrstvičky 5 s vodivostí P a na protilehlé druhé ploše 3 vrstvičky 6 s vodivostí N (obr. 2).

Papírková difuze se provádí zahříváním křemíkových destiček 1, proložených papírky napuštěnými příslušnými dopanty, rychlostí $20 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ až $100 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ po dobu 10 minut až 1000 hodin
15 na teplotu v rozmezí 900 až 1200 °C do získání teploty vyhojení radiačních poruch a pomalým chlazením rychlostí menší $2 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ na teplotu okolí. Rychlost zahřívání se volí tak, aby nedošlo k aktivaci nežádoucích akceptorů, na základě absorbovaných plynů v monokrystalu Si, a též v závislosti na typu pece, kvalitě pece a její tepelné kapacitě. Doba zahřívání závisí hlavně na velikosti vsázky křemíkových destiček 1. Teplota vyhojení radiačních poruch se pohybuje mezi
20 900 až 1400 °C. Vyhojení lze měřit známými postupy měření elektrických parametrů křemíku, po vychlazení.

Papírky napuštěné dopanty při teplotě zahřívání kolem 500 až 700 °C vyhoří a dopanty z jejich popela působí tak dlouho po dobu difuzního procesu, než se dosáhne, aby obě vrstvičky 5, 6 vykazovaly koncentraci 10^{15} až 10^{17} cm^{-3} P nebo N v celém průřezu vrstviček 5, 6. Též je nutné, aby
25 se papírkovou difuzí dosáhlo na povrchu obou vrstviček 5, 6 vodivosti P nebo N předem požadované povrchové koncentrace P nebo N větší než 10^{20} cm^{-2} , čehož se dosáhne řízeným zahříváním i chlazením bezprostředně na styku povrchu ploch 2, 3 křemíkových destiček 1 a dopanty napuštěných papírků.

Následně se z teploty vyhojení radiačních poruch křemíkové destičky 1 pomalu chladí rychlostí
30 menší než $2 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ na teplotu okolí. Pokud by se volila vyšší rychlost, může s vysokou pravděpodobností dojít k aktivaci termoakceptorů, termodonorů atp. Při nižší rychlosti se zvyšoval čas chlazení. Rychlost chlazení se volí též v závislosti na parametrech pece.

Obvykle trvá difuzní proces mezi 2 až 5 hodinami. Koncentrace P nebo N se zjišťuje známými postupy, zejména elektrickými.

35 V konkrétním provedení, při hromadné výrobě pomocí papírkové difuze, se křemíkové destičky 1 zahřívaly rychlostí $50 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ na teplotu kolem 600 °C, při níž papírky vyhořely, čemuž je možno napomoci, např. přifouknutím kyslíkem. Křemíkové destičky 1 se dále zahřívaly na teplotu kolem 1000 °C s prodlevou po dobu cca 5 minut dosažení předem požadované tloušťky vrstviček 5, 6 a jejich parametrů, a vyhojení radiačních poruch. Doba zahřívání křemíkových destiček 1 v tomto případě trvala kolem 30 minut do doby získání teploty potřebné k vytvoření předem požadovaných vrstviček 5, 6 a k vyhojení radiačních poruch. Poté se křemíkové destičky 1
40 pomalu chladily rychlostí kolem $1,5 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$. Proces papírkové difuze trval kolem 3 hodin. Obě vrstvičky 5, 6 měly tloušťku difuzní vrstvičky kolem 1,5 μm .

Křemíkové destičky 1 se po vychlazení vyjmou z pece a jsou připraveny na vytvoření metalických kontaktů 7. Na protilehlých plochách vrstviček 5, 6 křemíkové destičky 1 vytvoří metalické kontakty 7 (obr. 2) jednoho z kovů ze skupiny zahrnující Ti, Ni a Cr.

V konkrétním příkladu provedení byly metalické kontakty 7 získány vakuovým, naprašováním kovů slitinou Ti - Ni, může se využít i slitiny Cr-Ni.

50 Takto získaná křemíková destička 1 se následně rozčlení, např. pomocí diamantové pily na jednotlivé dozimetrické diody 8 (obr. 3, 4).

V konkrétním příkladném provedení se křemíková destička 1 o tloušťce 2,5 cm válcovitého tvaru o maximálním rozměru 7,5 cm rozčlenila na jednotlivé dozimetrické diody 8 s plochami 2, 3 o velikosti např., 2 mm x 2 mm a tloušťky 2,5 mm. Tento rozměr dozimetrické diody 8 představuje nejvýhodnější provedení z hlediska eliminace směrovosti dozimetrických diod 8 při zachování vysoké citlivosti.

Tímto způsobem se dosáhne citlivosti několik V.Gy⁻¹, např. kolem 3 V.Gy⁻¹.

Příklad 6

(Obr. 1, 2, 3, 4)

Další alternativní způsob výroby dozimetrických diod 8 pro dozimetrii rychlých neutronů, je shodný s předchozím příkladem, s tím rozdílem, že se křemíková destička 1 získá pomocí iontové implantace.

Křemíkové destičky 1 se podrobí působení iontové implantaci, např. nejprve iontu boru na jedné, např. horní ploše 2, a poté iontu fosforu na protilehlé spodní ploše 3, vždy s energií 100.10³ eV až 3.10³ eV. Oba procesy iontové implantace se tedy provádí zvlášť, napřed pro jednu plochu 2 a poté na protilehlou plochu 3. Oba procesy se mohou provádět hromadně pro více křemíkových destiček 1, které mohou být umístěny, např. na speciálním karuselu v implantátoru. Při využití nižší energie se získá vrstvička 5, 6 o nižší tloušťce a naopak. Parametry získané vrstvičky 5, 6 se proměřují známými způsoby, uvedenými, např. v předchozím příkladu provedení.

V konkrétním příkladném provedení byla použita energie kolem 100 KeV. Energie se volí podle požadavků na tloušťku implantované vrstvičky 5, 6.

Získané dozimetrické diody 8 mají shodné příznivé vlastnosti jako v předchozím příkladném provedení.

Lze konstatovat, že rychlé neutrony v případě dozimetrických diod 8 pro rychlé neutrony jsou založeny na interakci rychlých neutronů s krystalovou mřížkou křemíku. Poruchy v krystalové mřížce křemíku způsobují změnu doby životnosti minoritních nositelů náboje. Tím dochází ke změně voltampérové charakteristiky, která je mírou dávky neutronového záření. Přesný postup výroby dozimetrické diody 8 pro rychlé neutrony je přímo navázán na jednotlivé technologické kroky, které je nutno s velkou technologickou pečlivostí dodržovat, protože slouží jak pro maximální výtěžnost, tak i pro přesnou a reprodukovatelnou funkčnost daného dozimetrického prvku.

Pro aplikaci v dozimetru jsou dozimetrické diody 8 opatřeny neznázorněnými elektrickými přívody, např. pájením. Tyto elektrické přívody umožňují odečet velikosti poškození krystalové mřížky křemíku od dopadajících neutronů změnou rezistivity.

Následuje zapouzďení dozimetrických diod 8 z důvodu ochrany před mechanickými vlivy a též z důvodu vlivu světla na výsledné hodnoty napětí, měřené na dozimetru. Zapouzďení dozimetrické diody 8 je provedeno známým způsobem, např. pomocí termoplastu, který dozimetrickou diodu 8 chrání jak před světelným zářením, tak i před mechanickými vlivy. Potom se provádí známé označení neznázorněné katody dozimetru zkrácením příslušného přívodního vodiče.

Kalibrační proces na dozimetrických diodách 8 se provádí na neutronovém zdroji. Nejčastěji bývá zdrojem rychlých neutronů prvek Californium²⁵².

Průmyslová využitelnost

Dozimetrickou diodu podle technického řešení lze použít v oblasti směsných polí rychlých neutronů a gama-záření k uchovávání informací o ozáření. Řešení je možno využít pro dozimetrie pro personál obsluhující jaderná zařízení, pro detekci situace kolem jaderné exploze, pro radiační situace spojené s jadernou explozí, pro armádu a policii, pro ochranu před teroristickým útokem apod., a všude tam, kde je nutno měřit úroveň kontaminace rychlými neutrony.

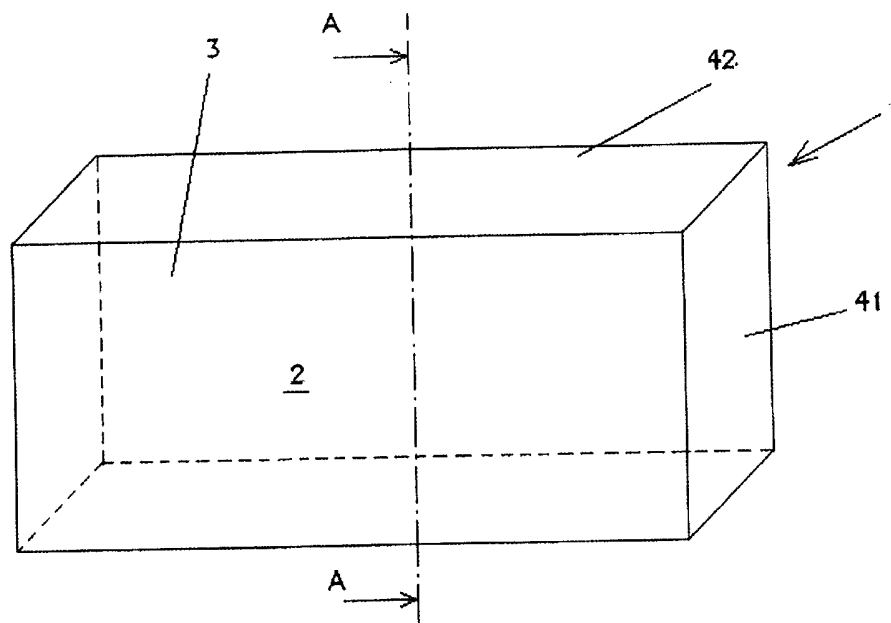
NÁROKY NA OCHRANU

1. Dozimetrická dioda pro dozimetrii rychlých neutronů, zhotovená rozčleněním křemíkové destičky (1) s protilehlými rovinnými plochami (2, 3) a bočními stěnami (41, 42), **v y z n a č u - j í c í s e t í m**, že křemíková destička (1)
- 5 i) je zhotovena z materiálu Si Fz monokrystalu s krystalografickou orientací (111) nebo s krystalografickou orientací (100) s odchylkou $\pm 5^\circ$, typem vodivosti N a tloušťce křemíkové destičky (1) v rozmezí 2480 až 2520 μm ,
- 10 ii) je opatřena na jedné své ploše (2) vrstvičkou (5) s vodivostí P a na protilehlé ploše (3) vrstvičkou (6) s vodivostí N, přitom obě vrstvičky (5, 6) vykazují koncentraci příslušného iontu 10^{15} až 10^{17} cm^{-3} a rezistivitu v rozmezí 85 až 115 $\Omega\cdot\text{cm}$,
- iii) vykazuje na každém vnějším povrchu vrstvičky (5, 6) koncentraci příslušného iontu P nebo N větší než 10^{20} cm^{-2}
- iiii) má na takto získaných vrstvičkách (5, 6) vytvořeny metalické kontakty (7) alespoň z jednoho z kovu ze skupiny zahrnující Ti, Ni a Cr.
- 15 2. Dozimetrická dioda podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že mezi vrstvičkou (5, 6) s vodivostí P nebo N a metalickými kontakty (7) je situována první mezi-vrstvička (10) obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Al, Ga, In, Tl a B, a mezi vrstvičkou (5, 6) s vodivostí N a metalickými kontakty (7) je situována druhá mezivrstvička (11) obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Sb, P a As.
- 20 3. Dozimetrická dioda podle nároku 1 nebo 2, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že mezi vrstvičkou (5, 6) s vodivostí P nebo N a metalickými kontakty (7), nebo mezi mezivrstvičkou (10, 11) a metalickými kontakty (7), je situována třetí mezivrstvička (12) obsahující alespoň jeden z prvků ze skupiny, zahrnující Au a Pt.
- 25 4. Dozimetrická dioda nároku 1 nebo 2, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že dozimetrická dioda (8) je na volných křemíkových plochách opatřena pasivační vrstvičkou (9).

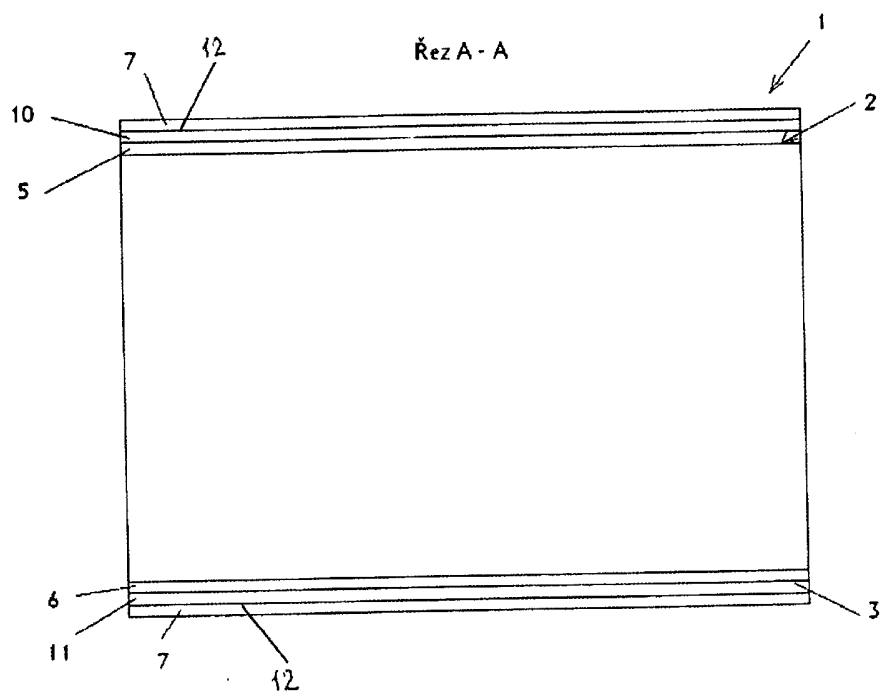
2 výkresy

Seznam vztahových značek:

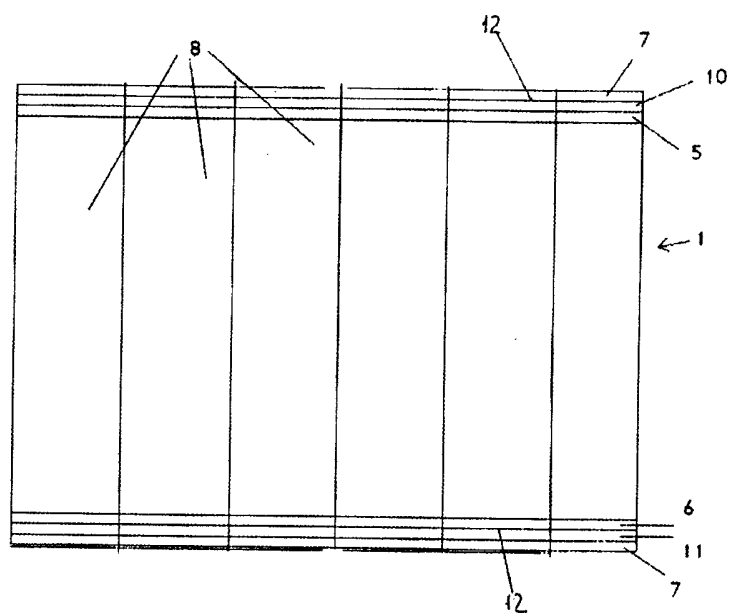
	1	křemíková destička
	2	horní plocha
30	3	spodní plocha 3
	41, 42	boční stěny
	5	vrstvička s vodivostí P
	6	vrstvička s vodivostí N
	7	kovové kontakty
35	8	dozimetrická dioda
	9	pasivační vrstvička
	10	první mezivrstvička
	11	druhá mezivrstvička
	12	třetí mezivrstvička.



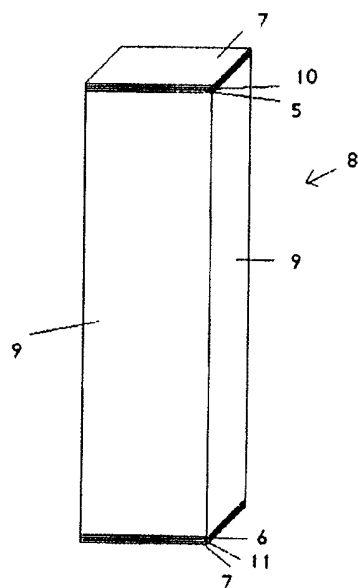
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4

Konec dokumentu