

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

306 026

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01T 1/202 (2006.01)
G01T 1/164 (2006.01)
G01T 1/20 (2006.01)
G01T 1/29 (2006.01)
B82Y 20/00 (2011.01)
H01L 31/0264 (2006.01)
H01L 31/0304 (2006.01)
C09K 11/00 (2006.01)
C09K 11/62 (2006.01)
C09K 11/64 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2015-82**
 (22) Přihlášeno: **09.02.2015**
 (40) Zveřejněno: **29.06.2016**
(Věstník č. 26/2016)
 (47) Uděleno: **18.05.2016**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **29.06.2016**
(Věstník č. 26/2016)

(56) Relevantní dokumenty:

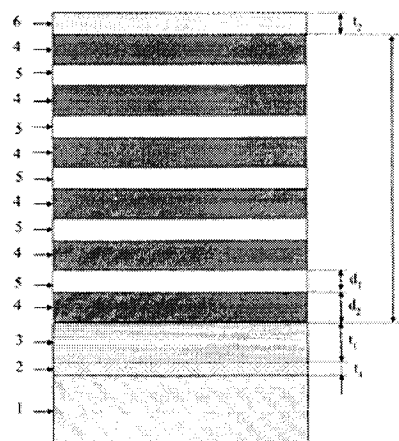
US 2011/0101219 A1; US 2004/0069950 A1; US 2004/0129891 A1.

(73) Majitel patentu:
 CRYTUR, spol.s r.o., Turnov, CZ
 Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Praha 8, CZ

(72) Původce:
 Ing. Alice Hospodková, Ph.D., Praha 6, CZ
 Ing. Karel Blažek, Turnov, CZ
 prof. Ing. Eduard Hulicius, CSc., Praha 5, CZ
 RNDr. Jan Touš, Turnov, CZ
 Ing. Martin Nikl, CSc., Praha 8, CZ

(74) Zástupce:
 PatentCentrum Sedlák a Partners s.r.o., Husova 5,
 370 01 České Budějovice

zmenšení doby luminiscenčního dosvitu.



(54) Název vynálezu:
Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření

(57) Anotace:
 Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rentgenového nebo částicového, zahrnující monokrystalický substrát alespoň jednu podkladovou vrstvu (2) alespoň jednu nitridovou polovodičovou vrstvu (3, 4, 5, 6) nanesenou na substrát (1) pomocí epitaxe, která je popsána obecným vzorcem $Al_xIn_yGa_{1-x-y}N$, kde platí $0 < x < 1$ a $0 < y < 1$, přičemž jsou alespoň dvě nitridové polovodičové vrstvy (3, 4) uspořádány do vrstvené heterostruktury, jejíž struktura obsahuje alespoň jednu potenciálovou jámu pro zářivé rekombinace elektronů a děr. Ve struktuře je uspořádána alespoň jedna aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev (3, 4) s v podstatě stejnou polarizací složená z bariérové vrstvy (4) typu $Al_yIn_xbGa_{1-xb-yb}N$ a z vrstvy (5) typu $Al_yIn_xwGa_{1-xw-yw}N$ představující potenciálovou jámu, kde platí $x_b \leq x_w$ a $y_b \leq y_w$, nebo je do alespoň jedné aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev (4, 5) vložena alespoň jedna vrstva (7) typu $Al_ydIn_xdGa_{1-xd-yd}N$ o tloušťce (t_3) menší než 2 nm, ve které platí $y_d \leq y_w$ a $x_d \geq x_w + 0,3$, pro vytvoření inverzní potenciálové bariéry uvnitř s ní sousedící vrstvy (5) představující potenciálovou jámu pro

CZ 306026 B6

Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření

Oblast techniky

Vynález se týká polovodičových monokrystalických scintilačních detektorů s nitridovou heterostrukturou určených pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rentgenového nebo částicového.

Dosavadní stav techniky

Je známo, že polovodiče se širokým zakázaným pásem např. GaN nebo ZnO jsou vhodné pro použití v detektorech ionizujícího záření. Materiály tohoto typu vykazují krátkou dobu dosvitu excitované luminiscence v řádu 1 ns a jsou radiačně odolné. Výhodou GaN je možnost jeho přípravy ve vyšší krystalografické kvalitě v podobě homogenních epitaxních vrstev nanesených na velkých plochách monokrystalických substrátů až v několika odlišných vrstvách nad sebou, což vede k vytvoření heterostruktur. Tyto heterostrukтуры vykazují nízké nezářivé ztráty a úzké luminiscenční maximum.

Z patentového dokumentu označeného US 7 053 375 B2 je znám polovodičový scintilátor pro excitaci ionizujícím zářením ve formě polovodiče tvořeného sloučeninou prvků III. skupiny periodické tabulky ve sloučenině s dusíkem. Tato polovodičová sloučenina je strukturována do vrstvy zformované na obecně popsaném substrátu. Dále může být mezi polovodičovou vrstvou a substrátem mezivrstva pro vyhlazení/zlepšení polovodičové struktury, tzv. podkladová vrstva. Různé sloučeniny dusíku s prvkem III. skupiny a jejich slitiny mohou být použity v odlišných vrstvách nanesených nad sebou a vytvářet heterostrukтуры.

V dalším známém patentovém dokumentu US 8 164 069 B2 je popsán fluorescenční prostředek reagující na dopad elektronů světelnou emisí, luminiscencí. Fluorescenční prostředek zahrnuje nosný monokrystalický substrát, nitridovou polovodičovou sendvičovou strukturu, ve které se střídají vrstvy bariérové s vrstvami reprezentujícími potenciálové jámy. Polovodičové vrstvy vytvářejí heterostrukтуру, která je uspořádána na povrchu jedné strany substrátu. Potenciálové jámy jsou preferenčně tvořeny slitinovým polovodičem $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$.

Nevýhodou výše uvedených patentových dokumentů je, že neuvažují vliv silného polarizačního elektrického pole, které vzniká na rozhraní nitridových vrstev různého složení (viz obr. 1) a které snižuje intenzitu luminiscence a prodlužuje dobu dosvitu scintilátoru, tzn., že scintilátor má pomalou odezvu na dopadající ionizující záření. Další nevýhodou výše uvedených řešení spočívá v tom, že při dopadu ionizujícího záření je relativně velké množství energie spotřebováno na nezářivou rekombinaci elektronů a děr v polovodičovém materiálu. Přítomnost kvantových jam tento podíl vylepšuje, avšak výsledný poměr spotřebované energie na zářivou a nezářivou rekombinaci stále není dostačující. Dosažení vyššího počtu potenciálových jam v polovodičové vrstvě, které by vylepšily výsledný poměr rekombinačních energií, brání zvýšené pnutí ve struktuře při rostoucím počtu $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ jam, způsobené odlišnou mřížkovou konstantou $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$. Při překročení kritického pnutí ve struktuře dochází ke vzniku dislokací a nežádoucímu zvýšení nezářivé rekombinace ve struktuře.

Úkolem vynálezu je vytvoření monokrystalického nitridového scintilačního detektoru pro detekci ionizujícího záření, který by odstraňoval nedostatky známých řešení, tj. který by odstranil nežádoucí vliv piezoelektrického pole a snížil pnutí ve struktuře, čímž by byl vytvořen detektor emitující intenzivnější luminiscenci, a který by měl vysokou rychlost odezvy na dopadající ionizující záření.

Podstata vynálezu

Vytčený úkol je vyřešen vytvořením scintilačního detektoru pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rentgenového nebo částicového podle tohoto vynálezu.

5

Scintilační detektor zahrnuje monokrystalický substrát, na kterém je nanесena alespoň jedna podkladová vrstva. Podkladová vrstva je nanесena pro stabilní navázání alespoň jedné nitridové polovodičové vrstvy na monokrystalický substrát pomocí epitaxe. Nitridová polovodičová vrstva je popsána obecným vzorcem $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, pro nějž platí vztahy $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ a $0 \leq x+y \leq 1$. Současne jsou alespoň dvě nitridové polovodičové vrstvy uspořádány do vrstevnaté heterostrukтуры jejíž struktura obsahuje alespoň jednu potenciálovou jámu pro zářivé rekombinace elektronů a děr generovaných dopadajícím zářením.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že na podkladové vrstvě je vytvořena alespoň jedna spodní nitridová polovodičová vrstva a nad spodní nitridovou polovodičovou vrstvou je uspořádána alespoň jedna aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev s v podstatě stejnou polarizací. Aktivní dvojice je složená z bariérové vrstvy typu $\text{Al}_{y_b}\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{1-x_b-y_b}\text{N}$ a z vrstvy typu $\text{Al}_{y_w}\text{In}_{x_w}\text{Ga}_{1-x_w-y_w}\text{N}$ představující potenciálovou jámu, kde pro aktivní dvojici platí vztahy $x_b \leq x_w$ a $y_b \leq y_w$. Nebo pokud aktivní dvojice vrstev nemá vyrovnanou polarizaci, je do alespoň jedné aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev vložena alespoň jedna vrstva typu $\text{Al}_{y_d}\text{In}_{x_d}\text{Ga}_{1-x_d-y_d}\text{N}$ o tloušťce menší než 2 nm, ve které platí $y_d \leq y_w$ a $x_d \geq x_w+0,3$, pro vytvoření inverzní potenciálové bariéry uvnitř s ní sousedící vrstvy představující potenciálovou jámu pro zmenšení doby luminiscenčního dosvitu. Přičemž je nad nejvýše se nacházející aktivní dvojicí směrem od substrátu uspořádána alespoň jedna vrchní nitridová polovodičová vrstva.

25

Mezi výhody scintilačního detektoru s v podstatě stejnou polarizací vrstev aktivních dvojic náleží krátká doba dosvitu, která se pohybuje řádově v jednotkách nanosekund, a vysoká intenzita luminiscence, způsobená zlepšeným překryvem děrové a elektronové funkce (viz obr. 2). Jiným způsobem zvýšení překryvu elektronové a děrové vlnové funkce je vložení inverzní potenciálové bariéry (viz obr. 3 a obr. 6), která k sobě přitáhne elektrony a díry, dojde k prostorovému přiblížení elektronů a děr, čímž se zkrátí dosvit scintilátoru a zvýší se intenzita excitované luminiscence.

V dalším výhodném provedení scintilačního detektoru podle tohoto vynálezu s GaN podkladovou vrstvou vyhovují složení a tloušťky bariérové vrstvy a vrstvy představující potenciálovou jámu vztahu

35

$$x_w/y_w = d_2/d_1(k - x_b/y_b) + k$$

přičemž platí interval $0,2 \leq k \leq 0,3$ pro vzájemnou kompenzaci pnutí v epitaxní rovině.

40

Kompenzace pnutí v aktivní části heterostrukтуры umožňuje zvětšit velikost této aktivní části heterostrukтуры, čímž se zvětší oblast pro dopad detekovaného záření a zvýší se počet uvolněných elektronů a děr pro zářivou rekombinaci, což má za následek zlepšení funkce scintilačního detektoru.

45

V dalším výhodném provedení scintilačního detektoru podle tohoto vynálezu zahrnuje aktivní část heterostrukтуры nejméně dvě periodicky se opakující aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev, jejichž celková tloušťka je větší než 200 nm.

V dalším výhodném provedení scintilačního detektoru podle tohoto vynálezu je spodní nitridová polovodičová vrstva typu $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, kde platí $0 \leq x < 0,5$, $0 \leq y < 0,5$ a $0 \leq x+y \leq 1$.

50

V dalším výhodném provedení scintilačního detektoru podle tohoto vynálezu je heterostrukтура do hloubky alespoň 1 μm od vnějšího povrchu vrchní nitridové polovodičové vrstvy dotována

atomy křemíku o koncentraci do 10^{19} cm^{-3} pro dosažení dostatečné vodivosti struktury a možnosti odvedení přebytečného záporného náboje způsobeného dopadajícím elektronovým svazkem.

5 V dalším výhodném provedení scintilačního detektoru podle tohoto vynálezu je monokrystalický substrát z materiálu ze skupiny yttrium-hlinitý perovskit, monokrystalická forma GaN, nebo safír.

10 V dalším výhodném provedení scintilačního detektoru podle tohoto vynálezu je monokrystalický substrát tvořen yttrium-hlinitým perovskitem dotovaným prvky vzácných zemin pro stabilizaci růstového procesu, přičemž podkladová vrstva je tenčí než 50 nm.

Výhody rychlého scintilátoru pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rentgenového nebo částicového, jsou rychlá doba dosvitu, vyšší intenzita luminiscence, dosažená alespoň částečnou kompenzací piezoelektrického pole a pnutí v aktivní oblasti, nebo eliminací vlivu piezoelektrického pole použitím inverzní potenciálové bariéry.

15

Objasnění výkresů

Uvedený vynález bude blíže objasněn na následujících vyobrazeních, kde:

20

obr. 1 znázorňuje schematické vyobrazení průběhu energie hrany vodivostního a valenčního pásu scintilační nitridové heterostruktury s kvantovými jámami bez kompenzace piezoelektrického pole a se slabým překryvem elektronové a děrové vlnové funkce, který zhoršuje intenzitu luminiscence scintilátoru a prodlužuje jeho dosvit,

25

obr. 2 znázorňuje schematicky vyobrazený průběh energie hrany vodivostního a valenčního pásu scintilační nitridové heterostruktury s kompenzovaným piezoelektrickým polem a dokonalejším překryvem vlnových funkcí,

obr. 3 znázorňuje schematicky vyobrazený průběh energie hrany vodivostního a valenčního pásu scintilační nitridové heterostruktury s vnořenou inverzní potenciálovou bariérou,

30

obr. 4 trojrozměrný graf závislosti polarizace na složení $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ vrstvy. Z této závislosti lze odvodit různá složení kvaternární vrstvy pro stejnou zvolenou polarizaci,

obr. 5 schematické vyobrazení vrstev heterostruktury s téměř stejnou polarizací jednotlivých vrstev aktivní oblasti vytvořené na substrátu,

35

obr. 6 schematické vyobrazení vrstev heterostruktury s vnořenými inverzními potenciálovými bariérami,

Příklady uskutečnění vynálezu

40

Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní případy uskutečnění vynálezu jsou představovány pro ilustraci, nikoliv jako omezení vynálezu na uvedené příklady. Odborníci znalí stavu techniky najdou nebo budou schopni zajistit za použití rutinního experimentování větší či menší počet ekvivalentů ke specifickým uskutečněním vynálezu, která jsou zde popsána. I tyto ekvivalenty budou zahrnuty v rozsahu následujících patentových nároků.

45

Na obr. 1 je vyobrazen průběh vodivostního a valenčního pásu ve struktuře spolu s vlnovými funkcemi 8 a 9 děr a elektronů pro strukturu připravenou dle stávajícího stavu techniky. Na obr. 2 až 3 jsou vyobrazeny vodivostní a valenční pás ve struktuře spolu s vlnovými funkcemi 8 a 9 děr a elektronů pro struktury podle tohoto vynálezu a to pro strukturu s vyrovnanou polarizací (obr. 2) a pro strukturu s inverzní potenciálovou bariérou (obr. 3). Na obr. 4 je vyobrazen prostorový graf závislosti polarizace vrstev na jejich složení pro návrh struktury zachovávající vyrovnané piezoelektrické pole v aktivní oblasti. Na obr. 5 je schematicky vyobrazena heterostruktura vy-

50

tvořená na monokrystalickém substrátu 1 s vyrovnanou polarizací. Na obr. 6 je schematicky vyobrazena heterostruktura vytvořená na monokrystalickém substrátu 1 s inverzní potenciálovou bariérou.

5

Příklad 1 - struktura s plně kompenzovaným piezoelektrickým polem

Součástí scintilátoru je vícevrstvá polovodičová nitridová heterostruktura s GaN podkladovou vrstvou 2 připravená technologií MOVPE. Pro kvalitu a funkci aktivní části heterostruktury je podstatné, aby byla bariérová vrstva 4 $\text{Al}_{y_b}\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{1-x_b-y_b}\text{N}$ v aktivní oblasti mřížkově přizpůsobena GaN podkladové vrstvě v epitaxní rovině a zároveň, aby vrstvy 5 $\text{Al}_{y_w}\text{In}_{x_w}\text{Ga}_{1-x_w-y_w}\text{N}$ s užším zakázaným pásem představující potenciálové jámy měly stejnou polarizovatelnost jako vrstvy 4 bariérové. Bariérová vrstva 4 $\text{Al}_{y_b}\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{1-x_b-y_b}\text{N}$ musí obsahovat přibližně $4,3 \times$ více atomů Al, než atomů In ($y_b = 4,3 \cdot x_b$), aby byla mřížkově přizpůsobena podkladu.

15

Heterostruktura je připravena na substrátu 1 YAP (yttrium-hlinitý perovskit) s orientací (111). Při přípravě byla provedena nitridace substrátu 1 v atmosféře $\text{NH}_3 + \text{N}_2$ při teplotě 1050°C po dobu 5 min. Dále byla připravena podkladová vrstva 2 GaN při teplotě 540°C , jejíž tloušťka t_2 je 30 nm. Spodní vrstva 3 GaN byla dotována atomy křemíku na koncentraci $5 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ a byla připravená za teploty 1050°C , tloušťka t_1 spodní vrstvy 3 jsou 2 μm . Aktivní oblast heterostruktury tvoří střídající se vrstvy 4 a 5 s širším a užším zakázaným pásem, připravené za teploty 830°C . Počet opakování aktivních dvojic je 12. Parametry bariérové vrstvy 4 jsou $\text{Al}_{y_b}\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{1-x_b-y_b}\text{N}$, kde $x_b = 0,04$, $y_b = 0,17$ a tloušťka d_2 vrstvy 4 je 16 nm. Vrstva 5 má parametry $\text{Al}_{y_w}\text{In}_{x_w}\text{Ga}_{1-x_w-y_w}\text{N}$, kde $x_w = 0,13$, $y_w = 0,24$ a tloušťka d_1 vrstvy 5 je 2 nm. Aktivní oblast je dotována křemíkem na koncentraci Si $2 \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$. Krycí vrstva 6 typu $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ byla připravená za teploty 830°C se složením $y = 0,05$.

25

Příklad 2 - struktura s téměř vyrovnaným piezoelektrickým polem a plně kompenzovaným pnutím v epitaxních vrstvách

30

Vícevrstvá polovodičová heterostruktura byla připravena podle příkladu 1 s tím, že složení a tloušťka d_2 bariérové vrstvy 4 s menší mřížkovou konstantou a_b je navrženo tak, aby bylo vyváženo pnutí způsobené vrstvou 5 představující potenciálovou jámu s větší mřížkovou konstantou a_w a tloušťkou d_1 vůči spodní vrstvě 3 s mřížkovým parametrem a_0 , kterou tvoří v tomto příkladu GaN. Zároveň je kompenzováno piezoelektrické pole mezi bariérovými vrstvami 4 a vrstvami 5 představujícími potenciálovou jámu. (oba typy vrstev mají stejnou polarizaci). Aktivní oblast tvoří střídající se vrstvy 4 a 5 s širším a užším zakázaným pásem, připravené za teploty 830°C . Počet periodických opakování aktivních dvojic je 30. Parametry vrstev 4 a 5 jsou $\text{Al}_{x_B}\text{In}_{y_B}\text{Ga}_{1-x_B-y_B}\text{N}$, kde $x_B = 0$, $y_B = 0,15$ s tloušťkou d_2 vrstvy 14 nm a $\text{Al}_{y_w}\text{In}_{x_w}\text{Ga}_{1-x_w-y_w}\text{N}$, kde $x_w = 0,07$, $y_w = 0,27$, s tloušťkou d_1 vrstvy 3 nm.

35

40

Příklad 3 – struktura s plně kompenzovaným piezoelektrickým polem a $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ podkladovou vrstvou

45

Vícevrstvá polovodičová struktura byla připravena podle příkladu 1 s tím, že spodní vrstva 3 je tvořena slitinovým polovodičem typu $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, se složením $x = 0,03$, což umožnilo snížit obsah Al ve vrstvách 4 a 5 aktivní oblasti heterostruktury. Aktivní oblast tvoří střídající se vrstvy 4 a 5 s širším a užším zakázaným pásem, připravené za teploty 830°C . Počet opakování aktivních dvojic je 15. Parametry vrstev 4 a 5 jsou $\text{Al}_{y_b}\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{1-x_b-y_b}\text{N}$, kde $x_b = 0,04$, $y_b = 0,03$, a tloušťka d_2 vrstvy 4 je 16 nm, a u vrstvy 5 typu $\text{Al}_{y_w}\text{In}_{x_w}\text{Ga}_{1-x_w-y_w}\text{N}$, kde $x_w = 0,08$, $y_w = 0,09$, je tloušťka d_1 5 nm.

50

55

Příklad 4 - struktura s vnořenou inverzní potenciálovou bariérou

Tato struktura (viz obr. 6) je připravena podle příkladu 1, avšak do vrstvy 5 s užším zakázaným pásem se složením $\text{Al}_{\text{yw}}\text{In}_{\text{xw}}\text{Ga}_{1-\text{xw}-\text{yw}}\text{N}$ je vnořena tenká vrstva 7 $\text{In}_{\text{xd}}\text{Ga}_{1-\text{xd}}\text{N}$, jako inverzní potenciálová bariéra, která do sebe vtahuje elektrony i díry a zlepšuje tak překryv jejich vlnových funkcí (viz obr. 3). Toto řešení zvyšuje překryv vlnových funkcí nosičů náboje i v případě přítomnosti piezoelektrického pole a umožňuje tak snížit koncentraci hliníku v aktivní oblasti, zvýšit intenzitu luminiscence a zrychlit luminiscenční odezvu.

Struktura je připravena na substrátu 1 YAP (yttrium-hlinitý perovskit) s orientací (111). Byla uskutečněna nitridace substrátu 1 v atmosféře $\text{NH}_3 + \text{N}_2$ při teplotě 1050 °C po dobu 5 min. Následně byla nanášena podkladová vrstva 2 z materiálu GaN při teplotě 540 °C, jejíž tloušťka t_4 je 30 nm. Dále byla vytvořena spodní vrstva 3 z materiálu GaN dotována atomy křemíku na koncentraci $1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ a připravená za teploty 1050 °C, jejíž tloušťka t_1 jsou 2 μm .

Aktivní oblast tvoří střídající se vrstvy 4, 5 a 7 s širším a užším zakázaným pásem, připravené za teploty 830 °C. Počet opakování aktivních trojic je 15.

Parametry vrstvy 4 jsou $\text{Al}_{\text{yb}}\text{In}_{\text{xb}}\text{Ga}_{1-\text{xb}-\text{yb}}\text{N}$, kde $\text{xb} = 0,02$, $\text{yb} = 0,09$, a tloušťka d_1 vrstvy 4 je 12 nm. Parametry vrstvy 5 jsou $\text{Al}_{\text{yw}}\text{In}_{\text{xw}}\text{Ga}_{1-\text{xw}-\text{yw}}\text{N}$, kde $\text{xw} = 0,03$, $\text{yw} = 0,07$, a tloušťka d_2 vrstvy 5 jsou 2 nm. Parametry vrstvy 7 jsou $\text{In}_{\text{xd}}\text{Ga}_{1-\text{xd}}\text{N}$, kde $\text{xd} = 0,4$, a tloušťka t_3 vrstvy 7 je 1 nm. Aktivní oblast je rovněž dotována křemíkem na koncentraci $\text{Si } 2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Na vrchu heterostruktury je nanášena krycí vrstva 6 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ připravená za teploty 830 °C se složením $y = 0,1$ a tloušťkou 8 nm.

Průmyslová využitelnost

Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rentgenového nebo částicového, podle vynálezu nalezne mimo jiné především uplatnění v medicínských oborech pracujících s ionizujícím zářením, v elektronových mikroskopech, v přístrojích vyžadujících rychlou detekci určených pro výzkum, nebo pro analýzu materiálů a výrobků, zejména v aplikacích diagnostiky kvality integrovaných obvodů a jiných elektronických součástek, dále v mikroradiografii, včetně rychlých CT systému s vysokým rozlišením a v mnoha dalších badatelských oborech, jako jsou astronomie, částicová fyzika, atp.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Scintilační detektor pro detekci ionizujícího záření, zejména elektronového, rentgenového nebo částicového, zahrnující monokrystalický substrát (1), na kterém je nanášena alespoň jedna podkladová vrstva (2) pro navázání alespoň jedné nitridové polovodičové vrstvy (3, 4, 5, 6) na substrát (1) pomocí epitaxe, nitridová polovodičová vrstva (3, 4) je popsána obecným vzorcem $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, kde platí $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ a $0 \leq x+y \leq 1$, přičemž alespoň dvě nitridové polovodičové vrstvy (3, 4) jsou uspořádány do vrstvené heterostruktury, jejíž struktura obsahuje alespoň jednu potenciálovou jámu pro zářivé rekombinace elektronů a děr, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že na podkladové vrstvě (2) je uspořádána alespoň jedna spodní nitridová polovodičová vrstva (3), nad spodní nitridovou polovodičovou vrstvou (3) je uspořádána alespoň jedna aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev (3, 4) s v podstatě stejnou polarizací složená z bariérové vrstvy (4) typu $\text{Al}_{\text{yb}}\text{In}_{\text{xb}}\text{Ga}_{1-\text{xb}-\text{yb}}\text{N}$ a z vrstvy (5) typu $\text{Al}_{\text{yw}}\text{In}_{\text{xw}}\text{Ga}_{1-\text{xw}-\text{yw}}\text{N}$ představující potenciálovou jámu, kde platí $\text{xb} \leq \text{xw}$ a $\text{yb} \leq \text{yw}$, nebo je do alespoň jedné aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev (4, 5) vložena alespoň jedna vrstva (7) typu $\text{Al}_{\text{yd}}\text{In}_{\text{xd}}\text{Ga}_{1-\text{xd}-\text{yd}}\text{N}$ o tloušťce

(t_3) menší než 2 nm, ve které platí $y_d \leq y_w$ a $x_d \geq x_w + 0,3$, pro vytvoření inverzní potenciálové bariéry uvnitř s ní sousedící vrstvy (5) představující potenciálovou jámu pro zmenšení doby luminescenčního dosvitu, přičemž je ve směru od substrátu (1) nad nejvýše se nacházející aktivní dvojicí vrstev (3, 4) uspořádána alespoň jedna vrchní nitridová polovodičová vrstva (6).

2. Scintilační detektor podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že složení a tloušťky (d_1 , d_2) bariérové vrstvy (4) a vrstvy (5) představující potenciálovou jámu vyhovují vztahu

$$x_w/y_w = d_2/d_1(k - x_b/y_b) + k$$

přičemž platí interval $0,21 \leq k \leq 0,27$ pro vzájemnou kompenzaci pnutí v epitaxní rovině.

3. Scintilační detektor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že aktivní část heterostruktury zahrnuje nejméně dvě aktivní dvojice nitridových polovodičových vrstev (4, 5), a jejíž celková tloušťka (h) je větší než 200 nm.

4. Scintilační detektor podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že spodní nitridová polovodičová vrstva (3) je typu $Al_yIn_xGa_{1-x-y}N$, kde platí $0 < x < 0,5$ a $0 < y < 0,5$.

5. Scintilační detektor podle některého z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že heterostruktura je do hloubky alespoň 1 μm od vnějšího povrchu vrchní nitridové polovodičové vrstvy (6) dotována atomy křemíku o koncentraci do 10^{19} cm^{-3} .

6. Scintilační detektor podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že monokrystalický substrát (1) je vyroben z materiálu ze skupiny yttrium-hlinitý perovskit, monokrystalická forma GaN, nebo safír.

7. Scintilační detektor podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že monokrystalický substrát (1) je tvořen yttrium-hlinitým perovskitem dotovaným vzácnou zeminou, přičemž podkladová vrstva (2) $Al_yIn_xGa_{1-x-y}N$ má tloušťku (t_4) menší než 50 nm.

8. Scintilační detektor podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že vzácná zemina je zastoupena cerem.

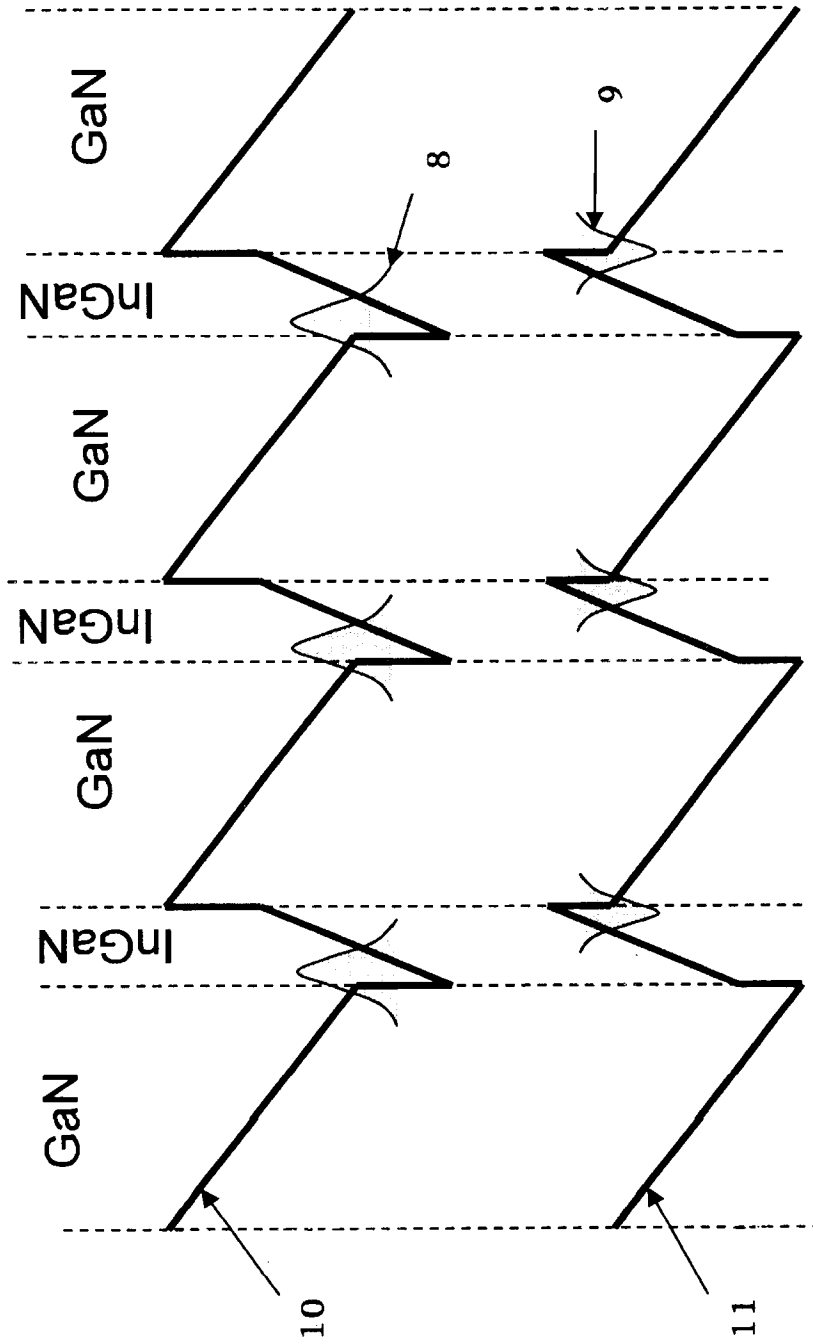
6 výkresů

Přehled vztahových značek:

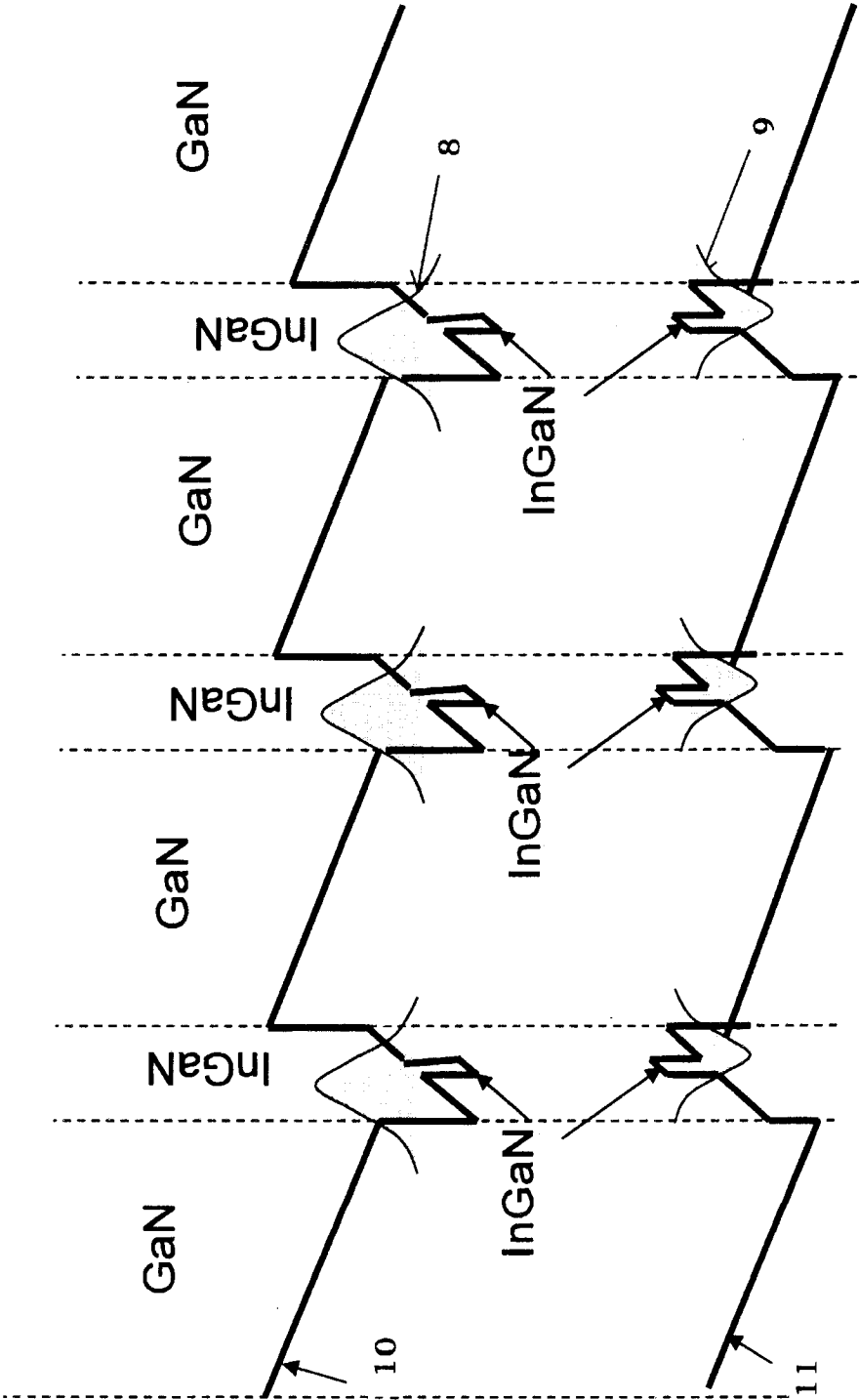
- 1 monokrystalický substrát
- 2 podkladová vrstva
- 3 spodní nitridová vrstva
- 4 bariérová vrstva
- 5 vrstva představující potenciálovou jámu
- 6 vrchní nitridová vrstva
- 7 vrstva představující inverzní potenciálovou bariéru
- 8 vlnová funkce elektronů
- 9 vlnová funkce děr
- d_1 tloušťka vrstvy představující potenciálovou jámu
- d_2 tloušťka bariérové vrstvy
- t_1 tloušťka spodní nitridové vrstvy

- t_2 tloušťka vrchní nitridové vrstvy
- t_3 tloušťka vrstvy představující inverzní potenciálovou bariéru
- t_4 tloušťka podkladové vrstvy
- h tloušťka aktivní části heterostruktury

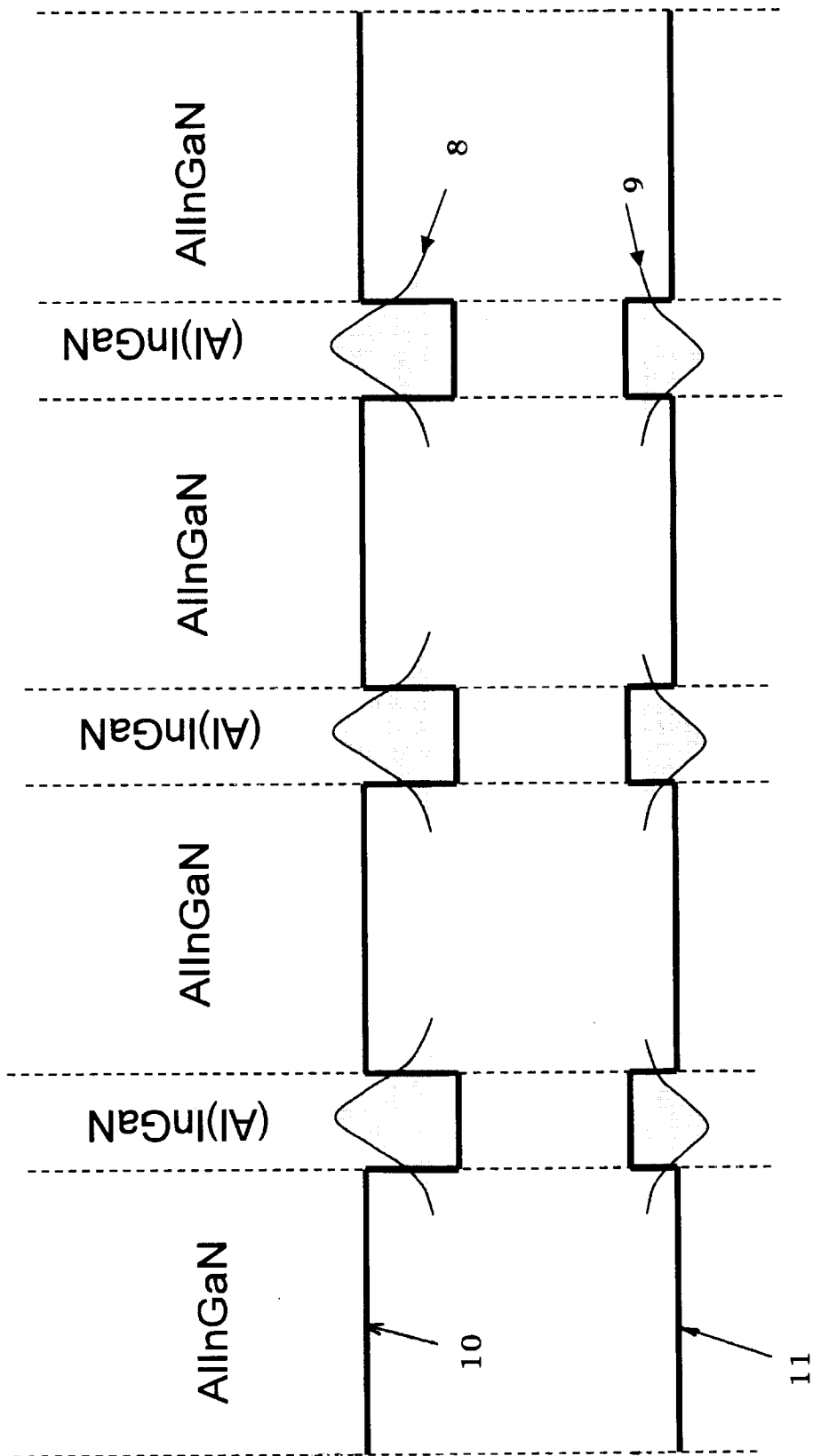
5



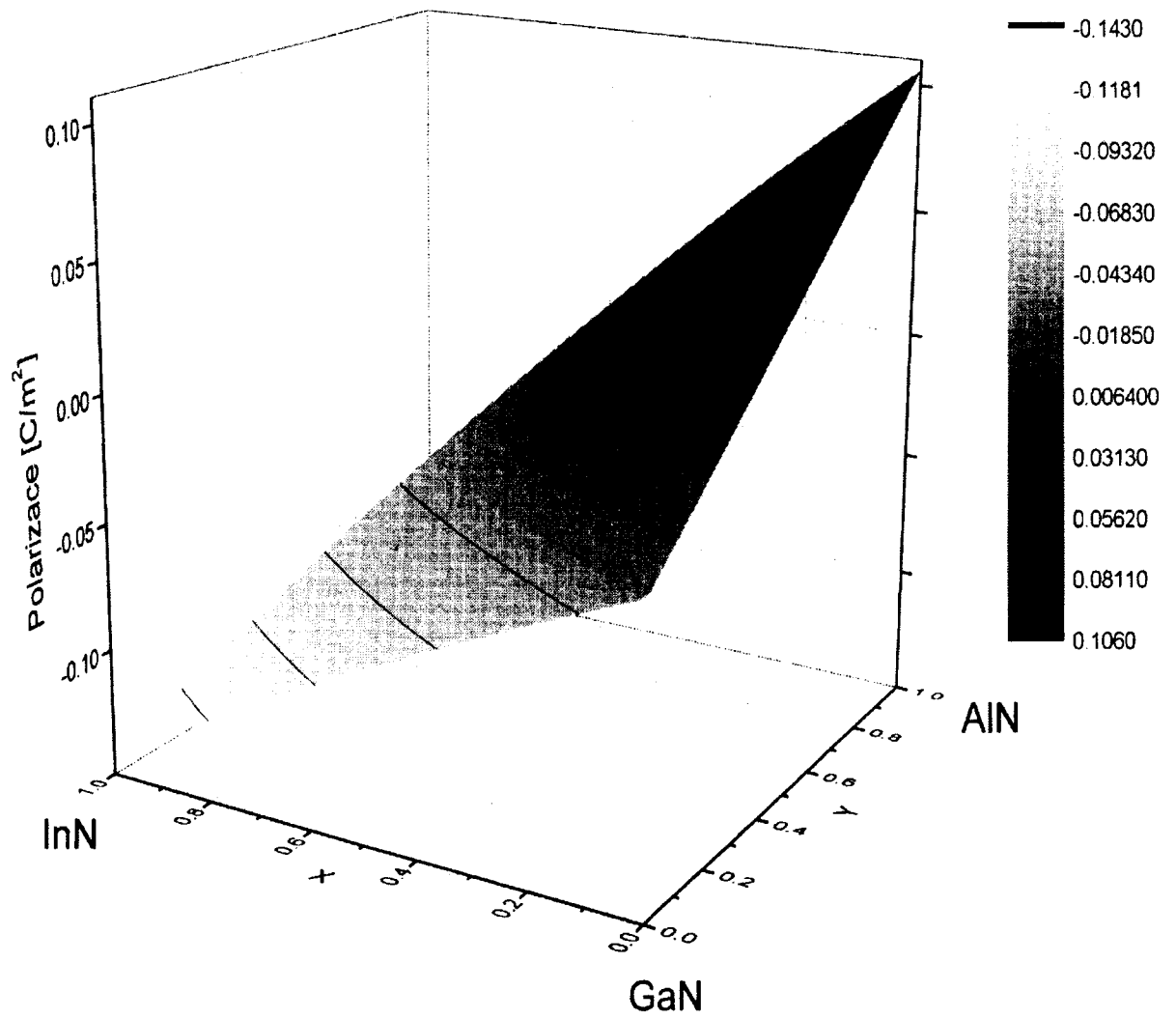
OBR. 1

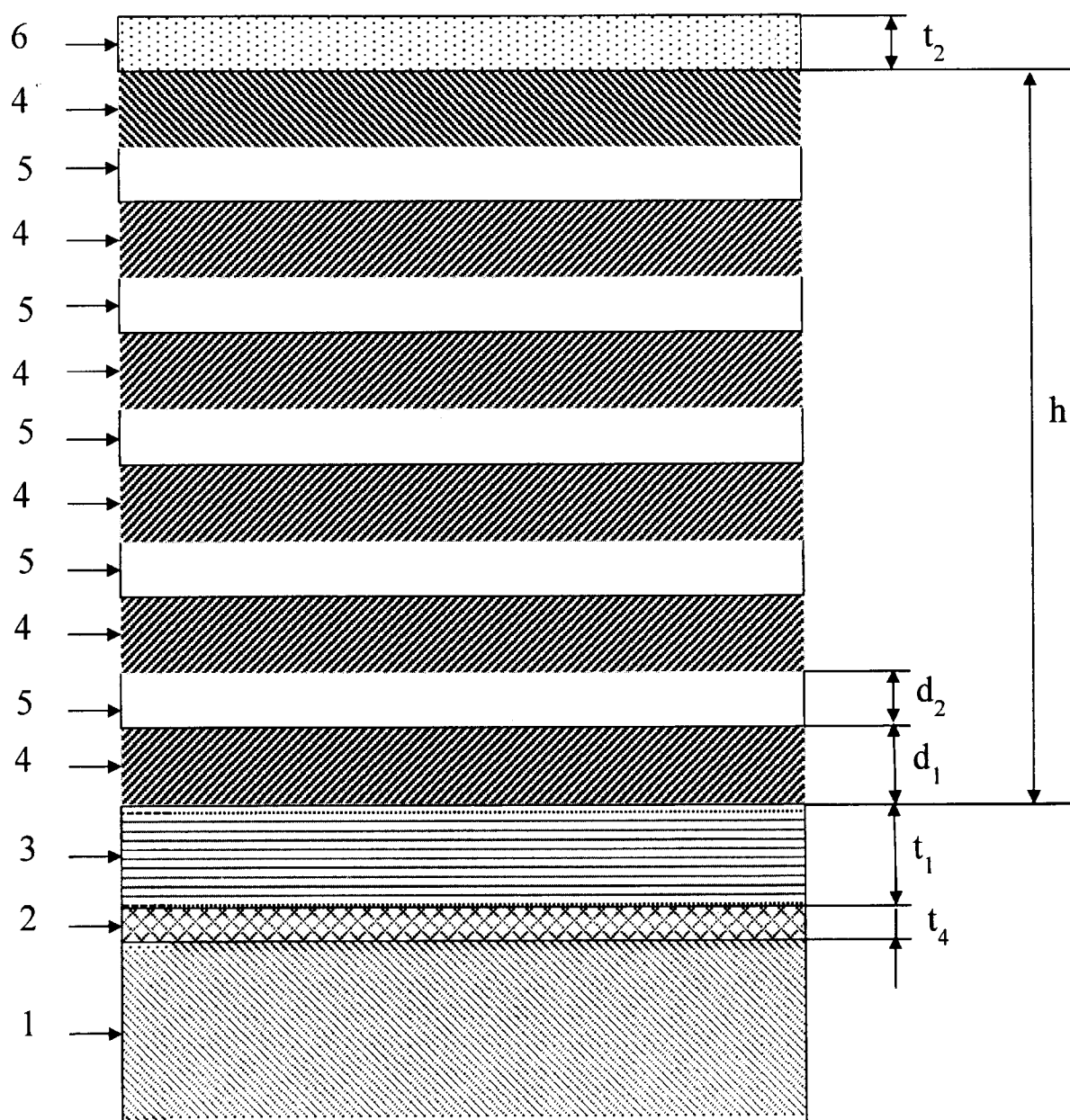


OBR. 2



OBR. 3

OBR. 4

OBR. 5

