

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

29 250

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01T 1/24 (2006.01)
G01T 3/08 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2016-32052**
(22) Přihlášeno: **29.01.2016**
(47) Zapsáno: **08.03.2016**

- (73) Majitel:
ADVACAM s.r.o., Praha 3, CZ
- (72) Původce:
Ing. Jan Jakůbek, Ph.D., Hýskov, CZ
- (74) Zástupce:
PatentCentrum Sedlák & Partners s.r.o., Husova 5,
370 01 České Budějovice

- (54) Název užitého vzoru:
**Vrstvený pixelový detektor ionizujícího
záření**

CZ 29250 U1

Vrstvený pixelový detektor ionizujícího záření

Oblast techniky

Technické řešení se týká oblasti detekce ionizujícího záření pomocí polovodičových detektorů.

Dosavadní stav techniky

5 Zobrazovací techniky, které využívají pronikavé ionizujícího záření, nacházejí stále více uplatnění v mnoha oborech. Jsou využívány pro kontrolu kvality a nedestruktivní testování v průmyslu, pro diagnostiku a terapii v medicíně, při kontrole zavazadel a zásilek v bezpečnostních aplikacích atd. Nejznámější a nejrozšířenější zobrazovací technikou je transmisní radiografie s rentgenovým, nebo gama zářením.

10 Specifickou oblastí zobrazování s pronikavým ionizujícím zářením je neutronová radiografie. Princip této metody je velmi podobný rentgenové radiografii. Lze ji využít v případech, kdy rentgenová radiografie neposkytuje dostatečný kontrast, tzn., že rentgenové záření má nedostatečnou pronikavost materiálem. Místo rentgenového záření se používá záření neutronové s vyšší pronikavostí. Neutronová transmisní radiografie umožňuje zobrazit některé lehké materiály skrz některé materiály těžké. Příkladem je zobrazování rozložení organických materiálů uvnitř kovových
15 nebo minerálních struktur, např. organické mazivo ve strojích, organické lepidlo v lepených metalických strukturách, nebo např. voda v minerálním materiálu, výbušnina v kontejneru atp.

Všechny tyto zobrazovací techniky využívají pronikavosti použitého typu ionizujícího záření skrz opticky neprůhledné objekty pro zobrazení jejich vnitřní struktury. Zobrazovací detektory implementující tyto techniky musí vždy obsahovat obrazový snímač, na jehož detekční plochu ionizující záření dopadá. Obrazový snímač musí mít tedy zejména schopnost pronikavé záření zachytit. Vzhledem k tomu, že použité záření má schopnost pronikat hmotou, může také pronikat zobrazovacím detektorem. Materiál a konstrukce snímače musí být tedy speciálně uzpůsobeny tak, aby byla detekční účinnost maximalizována pro daný typ ionizujícího záření, tj. aby co nejvíce částic daného ionizujícího záření, např. fotonů rentgenového záření, vytvořilo ve snímači signál.
20

Detekční účinnost zobrazovacího detektoru závisí na použitém materiálu snímače a na jeho tloušťce. Požadavek na vysokou detekční účinnost tedy obvykle vede k požadavku na velkou tloušťku snímačů zobrazovacích detektorů. Nevýhoda takového postupu spočívá v tom, že tloušťka snímače nepříznivě ovlivňuje výslednou prostorovou rozlišovací schopnost zobrazovacího detektoru. Proto tlusté snímače s velkou účinností nedosahují rozlišovací schopnosti snímačů tenkých s nízkou účinností.
30

Zobrazovací detektory detekující ionizující záření existují v mnoha podobách, nejstarším typem zobrazovací snímací plochy je fotocitlivý film. S nástupem digitalizace se jako zobrazovací snímací plochy využívají nejčastěji scintilační stínítka (např. CsI, Gadox, NaI(Tl), BGO, LYSO), které převádějí ionizující záření na viditelné světlo, a které je následně zaznamenáno některým typem fotodetektoru např. CCD nebo CMOS snímač. Tyto systémy tedy využívají principu dvojí konverze, což znamená, že záření je nejprve převedeno ve scintilátoru na viditelné světlo a to je následně převedeno na elektrický signál pomocí fotodetektoru. Elektrický signál je dále zpracováván pomocí vhodného hardware případně software, který vytvoří obraz na obrazovce nebo jiném zobrazovacím médiu.
35
40

V posledních letech se jako snímače ionizujícího záření pro zobrazování používají stále častěji polovodičové detektory pracující na principu jediné konverze, kdy dopadající ionizující záření vytváří elektrický signál přímo v polovodičovém elementu. Na jednom polovodičovém čipu je vytvořeno velké množství takto pracujících elementů, v odborných kruzích zvaných pixely, čímž vznikne obrazový snímač. Signál z každého elementu je dále zpracováván ve specializovaném hardware a software, který vytvoří finální obraz. Tyto polovodičové detektory záření jsou označovány jako polovodičové pixelové detektory nebo senzory, a jsou vyráběny z nejrůznějších polovodičových materiálů jako je křemík, CdTe, GaAs apod.
45

Pro detekci pronikavého neutronového záření je polovodičový detektor často kombinován s konvertorem. U polovodičových detektorů bývá konvertor umístěn v tenké vrstvě na povrchu jeho snímací plochy. Konvertorem může být například vrstva obsahující ${}^6\text{Li}$ nebo ${}^{10}\text{B}$ pro detekci pomalých neutronů, nebo organický polymer s vysokým obsahem vodíku pro rychlé neutrony. Neutrony jsou v konvertoru přeměněny na iontové záření, které je následně s vysokou účinností detekováno snímačem. Snímač může být v tomto případě tenký. Nevýhoda takového řešení spočívá v tom, že samotná vrstva konvertoru v praktických případech vykazuje jen velmi nízkou účinnost v jednotkách procent.

Hardware pro zpracování elektrických signálů z jednotlivých pixelů je často vytvořen na nezávislém čipu, který se nazývá čip čtecí elektroniky nebo zkráceně čtecí čip. Snímací čip polovodičového pixelového detektoru bývá umístěn přímo na čtecím čipu, překrývá jej, a je k němu elektricky připojen maticí kontaktů. Takové uspořádání obou čipů tvoří nerozebíratelnou jednotku, která se označuje jako hybridní polovodičový pixelový detektor, nebo zkráceně jako hybridní detektor. Čtecí čip je alespoň na jedné straně opatřen kontakty takzvaných periférií sloužících k napájení a komunikaci s jednotkou hybridního detektoru. Oblast periférií čtecího sensoru obvykle nebývá překryta čipem pixelového sensoru, což umožňuje připojení externích vodičů. V některých případech je čip čtecí elektroniky navržen tak, že umožňuje digitálně zaznamenat informace o každé jednotlivé částici ionizujícího záření, která vytvořila elektrický signál v sensoru. Výsledný detektor se pak nazývá „detektor jednotlivých částic“ (anglicky: „particle counting detector“) případně, pokud jsou těmito částicemi fotony, např. rentgenové nebo gama ionizující záření, pak „detektor jednotlivých fotonů“ (anglicky: „photon counting detector“). Hlavní výhodou těchto detektorů je absence integračního a digitalizačního šumu v obraze.

Jako příklad hybridních polovodičových detektorů jednotlivých částic je možné uvést v odborných kruzích známé polovodičové detektory Medipix2, Medipix3 a Timepix, nebo detektory Pilatus a Eiger. Tloušťka čipu snímače je obvykle v rozmezí 50 μm až 2000 μm , přičemž pro zobrazování jsou přednostně používány snímače o tloušťce 300 μm a více. Snímače jsou převážně vyrobeny z krystalu křemíku, méně často z krystalu CdTe nebo Cd(Zn)Te a ještě méně často z krystalu GaAs. Jednotlivé pixely jsou obvykle čtvercového tvaru o straně 55 μm u čipů Medipix2, Medipix3, Timepix, o straně 75 μm u čipů Eiger, o straně 172 μm u čipů Pilatus, apod. Nelze tedy velikost pixelu zobecnit hromadně pro všechny hybridní polovodičové detektory.

U většiny existujících typů detektorů dochází při snaze o dosažení vyšší detekční účinnosti při zvětšování tloušťky citlivé vrstvy snímače ke zhoršení prostorové rozlišovací schopnosti. Pro polovodičové pixelové detektory je důvodem tohoto jevu expanse náboje vytvořeného detekovanou částicí záření ve snímači. V tlustém snímači je totiž nutno přenést tento náboj přes velkou tloušťku polovodiče ke sběrným elektrodám. V průběhu tohoto procesu dojde k expansi tak, že nakonec náboj vytvořený jedinou částicí je registrován v několika sousedních pixelech čtecího čipu. V případě scintilačních stínítek je problém podobný, neboť záblesk scintilačního světla vyvolaný detekovanou částicí osvětlí v případě tlustého scintilátoru skupinu pixelů na fotodetektoru. V obou případech tedy se vzrůstající tloušťkou snímače dochází k degradaci prostorového rozlišení detektoru.

Přirozeným řešením problému detekční účinnosti je použití vrstveného detektoru skládajícího se z více tenkých detektorů uspořádaných ve vrstvách nad sebou. Pronikavé záření, které není zachyceno v jedné vrstvě, projde do dalších vrstev, takže celková pravděpodobnost detekce záření roste s počtem použitých vrstev. Výsledný obraz je poté složen z obrazů zachycených jednotlivými detektory. Toto řešení je známé u scintilačních detektorů. Nevýhoda řešení u scintilačních detektorů spočívá v tom, že složením obrazů zachycených jednotlivými vrstvami do výsledného složeného obrazu dochází rovněž ke sčítání šumů ze všech vrstev.

Je tedy výhodné techniku vrstvení detektorů používat s polovodičovými detektory jednotlivých částic, které mají významně nižší šum. Nejlepších výsledků je přitom dosaženo při co nejtěsnějším uspořádání vrstev detektorů tak, aby nedošlo k významnému geometrickému zkreslení výsledného složeného obrazu.

Nevýhody při použití polovodičových detektorů spočívají v tom, že při těsném uspořádání polovodičových pixelových detektorů jednotlivých částic je přítomnost jakéhokoli dalšího materiálu mezi citlivými vrstvami problematická. Tímto problematickým materiálem je typicky čip elektroniky vyčítání, plošný spoj, mechanická struktura držáku vrstvy detektoru, struktura pro odvod tepla z vrstvy, atp. Tento dodatečný problematický materiál není citlivý na procházející záření, ale může přitom procházející záření významně tlumit, rozptylovat případně produkovat sekundární záření, například prostřednictvím rentgenové fluorescence nebo Comptonova efektu v případě gama nebo rentgenového záření, dále produkcí delta elektronů pro iontové záření, produkcí brzdného záření atp. Přítomnost tohoto necitlivého problematického materiálu je tedy nežádoucí protože zhoršuje citlivost a rozlišovací schopnost výsledného vrstveného detektoru. Tento necitlivý materiál rovněž zvětšuje vzdálenost mezi snímacími vrstvami, čímž může dojít ke geometrickému zkreslení a rozmazání složeného obrazu.

Úkolem technického řešení je vytvoření takového vrstveného pixelového detektoru pronikavého ionizujícího záření, který by odstraňoval nedostatky známých řešení detektorů pronikavého ionizujícího záření tak, aby bylo dosaženo vysoké detekční účinnosti při vysokém prostorovém rozlišení a při zanedbatelné deformaci obrazu.

Podstata technického řešení

Vytčený úkol je vyřešen vytvořením vrstveného pixelového detektoru ionizujícího záření podle tohoto technického řešení.

Vrstvený pixelový detektor ionizujícího záření zahrnuje alespoň dva polovodičové pixelové detektory jednotlivých částic, kde každý je tvořen snímačem připojeným ke čtecímu čipu. Z boku čtecího čipu na části jeho obvodu vystupuje vystupující část s kontaktními ploškami pro připojení vodičových spojů.

Podstata technického řešení spočívá v tom, že pixelové detektory tvoří alespoň jeden segment, ve kterém jsou uspořádány pixelové detektory do vrstev nad sebou, a mezi jednotlivými vrstvami se nachází lepidlo. Segment tedy tvoří pevnou součást vrstveného detektoru, současně lepidlo dobře vede teplo mezi vrstvami a jen minimálně, díky své tenké vrstvě, ovlivňuje ionizující záření. Velikost tloušťky čtecích čipů je omezena maximální velikostí 200 μm , neboť by mocnější vrstvy významně omezovaly průnik ionizujícího záření. Velikost tloušťky snímačů je omezena maximální velikostí 2000 μm , neboť by větší mocnost snímače zkreslovala detekci částic do více pixelů. Vrstvení přidává k detektorům 3D citlivost, kdy detektor neregistruje dopad pouze v ploše, ale i z hlediska sloupce. Současně se vystupující části sousedních vrstev ve směru pohledu kolmém vůči ploše snímače překrývají částečně, nebo se nepřekrývají, což umožňuje použití opory pro vyšší vrstvy, kterým nestíní vystupující části vrstev níže položených. Vrstvený detektor rovněž zahrnuje alespoň jednu nosnou teplovodivou platformu opatřenou alespoň jednou podpurnou strukturou pro opření alespoň jedné vystupující části čtecího čipu. Platforma tvoří oporu jednotlivým vrstvám, dále tvoří nosnou konstrukci vrstveného detektoru a rozvádí teplo ze segmentu do větší plochy. Nepravidelné uspořádání vystupujících částí rovněž napomáhá přenosu tepla ze segmentu do okolního vzduchu obdobně, jako u žebrovaného chladiče.

Ve výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení mají půdorys snímače a půdorys čtecího čipu bez vystupující části tvar čtverce. Čtvercový tvar je výborně jednoduchý, současně se s ním dobře pracuje a návrhy konstrukce pro čtvercové polovodičové detektory jsou snadněji zhotovitelné.

V dalším výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení zahrnuje vrstvený detektor nejméně dvě nosné teplovodivé platformy, přičemž je alespoň jedna nosná teplovodivá platforma opatřena otvorem odpovídajícího tvaru a velikosti pro přiložení snímače nejvyšší vrstvy následujícího segmentu ke čtecímu čipu spodní vrstvy předcházejícího segmentu. Pokud by byla platforma souvislá, její materiál by ovlivňoval prostupující ionizující záření, čímž by snížil efektivitu a přesnost detektoru. Tím, že segmenty na sebe plynule navazují, je možné vytvořit vrstvený detektor libovolné výšky, což je vhodné pro aplikace, kdy je potřeba znát prostorové rozprostření ionizujícího záření.

V dalším jiném výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení jsou nosné teplovodivé platformy opatřeny plošným spojem pro připojení vodivých spojů čtecích čipů a řídicí jednotky. Přenesením elektronických součástí do platformy je odebrán veškerý možný překážející vodivý materiál z oblasti segmentů vrstveného detektoru.

- 5 V dalším jiném výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení je lepidlo polymerní a jeho složení obsahuje především lehké prvky. Polymerní lepidlo z lehkých prvků minimálně ovlivňuje ionizující záření při zachování svého hlavního účelu pevného spojení vrstev segmentu.

- 10 V dalším jiném výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení je mezi jednotlivé vrstvy vložen alespoň jeden neutronový konvertor. Neutronový konvertor při dopadu neutronu emituje ionizující záření jiného typu, které je snadněji detekovatelné a vede k lepšímu výslednému zobrazení ionizujícího záření. Dále je výhodné, pokud je neutronový konvertor pro pomalé neutrony tvořen drceným ${}^6\text{LiF}$ nebo ${}^{10}\text{B}_4\text{C}$ obsaženým v polymerním lepidle.

- 15 V dalším jiném výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení má alespoň jeden snímač směrem od nejvyšší vrstvy absorpční schopnost vyšší, než snímač ve vrstvě předcházející. V oblasti rentgenové radiografie je pro rozšíření spektrální citlivosti a dynamického rozsahu detektoru výhodné volit sensory ve vrstvách tak, aby postupně rostla jejich absorpční schopnost. Pro rentgenovou radiografii je výhodné použít v první vrstvě nejméně
20 absorbující sensor, v další vrstvě více absorbující, atd., až v poslední vrstvě použít nejvíce absorbující materiál.

- V dalším jiném výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení jsou v alespoň jedné sousedící dvojici vrstev snímače přivráceny k sobě. Mezi takto sousedícími sensory může být umístěn konvertor podle předcházejících popisů. V této konfiguraci lze
25 výhodně kombinovat události detekované v takto sousedních vrstvách. Týká se to například rozeznávání událostí, při kterých dojde k rentgenové fluorescenci v jednom sensoru a detekci fluorescenčních fotonů v druhém z nich, nebo rozeznávání detekce pomalého neutronu v konverzní vrstvě obsahující ${}^6\text{Li}$ a jeho odlišení od událostí způsobených energetickými ionty. Energetické ionty jako jsou protony a alfa částice totiž nemohou proniknout do hlubších vrstev detektoru, aniž
30 by vytvořily signál ve vrstvě první. Neutrony však proniknou skrz první vrstvu bez interakce.

- V dalším jiném výhodném provedení vrstveného pixelového detektoru podle tohoto technického řešení jsou segmenty uspořádány vedle sebe, kde plochy snímačů tvoří souvislý řádek, přičemž jsou vystupující části čtecích čipů uspořádány podél řádku. Pro vytvoření vrstveného detektoru se
35 zvětšenou plochou je výhodné sestavovat segmenty nejen nad sebe, ale i vedle sebe, a vytvořit tak vrstvený detektor se zvětšenou plochou. Výhodné uspořádání segmentů představuje zejména řádek, jehož délka není omezena.

- Mezi výhody vrstveného pixelového detektoru ionizujícího záření patří vysoké rozlišení, vysoká detekční účinnost a 3D citlivost. Vrstvený detektor je vhodný pro aplikace ze skupiny transmisní rentgenová a gama radiografie, energeticky citlivá transmisní radiografie, potlačení Comptonova
40 rozptylu v transmisní radiografii, gama kamery, Comptonovy kamery pro gama záření, emisní radiografie s gama zářením, detekce a trasování iontů, transmisivní neutronová radiografie, multimodální zobrazování, radiační monitorování. Vrstvené detektory jsou stabilní, zatížení z jednotlivých vrstev je rozloženo do nosné platformy, přičemž existence mnoha tepelných můstků napomáhá odvodu přebytečného tepla. Vrstvy mohou mít tvar čtverce, či jiný vhodný
45 tvar, přičemž výška sloupce, či délka řádku není omezená.

Objasnění výkresů

Uvedené technické řešení bude blíže objasněno na následujících vyobrazeních, kde:

obr. 1 znázorňuje axonometrický pohled shora na vrstvený pixelový detektor,

obr. 2 znázorňuje boční řez vrstveným detektorem se dvěma rozloženými segmenty,

obr. 3 znázorňuje axonometrický pohled shora na vrstvený pixelový detektor tvořící řádek,

obr. 4 znázorňuje boční řez vrstveným detektorem se dvěma rozloženými segmenty o dvou vrstvách.

Příklad uskutečnění technického řešení

- 5 Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní případy uskutečnění technického řešení jsou představovány pro ilustraci, nikoliv jako omezení technického řešení na uvedené příklady. odborníci znalí stavu techniky najdou nebo budou schopni zajistit za použití rutinního experimentování větší či menší počet ekvivalentů ke specifickým uskutečněním technického řešení, která jsou zde popsána. I tyto ekvivalenty budou zahrnuty v rozsahu následujících nároků na ochranu.
- 10 Na obr. 1 je vyobrazen vrstvený pixelový detektor 7 ionizujícího záření. Na nosné teplovodivé platformě 10 z hliníku je usazen segment 9 tvořený vrstvami polovodičových pixelových detektorů jednotlivých částic. V každé vrstvě je snímač 1 z křemíkového materiálu, či z CdTe nebo z GaAs materiálu. Tloušťka snímače 1 nepřesáhne 2000 μm . Čtecí čip 2 je ztenčen do maximální tloušťky 200 μm .
- 15 Na obr. 2 je vyobrazen vrstvený detektor 7 v bočním řezu, kdy jsou dva segmenty 9 připraveny ke spojení. Segmenty 9 jsou tvořeny vrstvami z křemíkového snímače 1 a ze čtecího čipu 2, přičemž mezi jednotlivými vrstvami je polymerní lepidlo 6 např. epoxy. Z každého čtecího čipu 2 vystupuje vystupující část 8 nesoucí kontaktní plošky pro připojení vodivých spojů 3. Vodivé spoje 3 jsou měděné drátky připojené k plošnému spoji 4, který je dále v nevyobrazeném provedení připojen k řídicí jednotce tvořené počítačem. Každá vystupující část 8 je podepřena podpůrnou strukturou 5 ze stejného materiálu, jako je platforma 10, která přenáší zatížení do nosné teplovodivé platformy 10. Na obr. 3 je vyobrazeno provedení vrstveného detektoru 7 v řádku a na obr. 4 je vyobrazen řez segmenty 9 o dvou vrstvách.

Příklad použití 1 - Transmisní rentgenová a gama radiografie

- 25 Základní aplikací vrstveného detektoru 7 je transmisní radiografie s pronikavým gama nebo rentgenovým zářením v oblasti nedestruktivního testování v průmyslu a při medicínské diagnostice, kde lze díky vysoké citlivosti podstatně snížit radiační dávku. Další oblastí použití jsou bezpečnostní aplikace, jako je skenování zásilek a zavazadel. Kompaktní rozměry vrstveného detektoru 7 lze s výhodou využít při radiografii s vrstveným detektorem 7 umístěným uvnitř zobrazovaného objektu. V průmyslu se jedná například o inspekci stěn válců ve spalovacích motorech, svárů trubek atd., v medicíně jde například o radiografii prostaty s vrstveným detektorem 7 umístěným v rektální sondě.

Příklad použití 2 - Energeticky citlivá transmisní radiografie

- 35 Při rentgenové transmisní radiografii se ve většině případů využívá jako zdroj záření rentgenová trubice, jinak řečeno rentgenka. Tento zdroj poskytuje rentgenové záření s širokým energetickým spektrem. Při radiografii je méně energetická (měkčí) složka záření pohlcena ve vzorku snáze, protože je méně pronikavá, kdežto více energetická (tvrdší) složka vzorkem projde. Tomuto jevu se říká tvrdnutí spektra ionizujícího záření. Tvrdnutí spektra záleží na hustotě a materiálovém složení vzorku. Vrstvený detektor 7 má možnost měření úrovně tvrdnutí spektra díky své 3D citlivosti. Méně energetické (tj. méně pronikavé) složky spektra jsou zaznamenány ve vnějších vrstvách detektoru 7, zatímco pronikavější vyšší energie prostoupí do hlubších vrstev detektoru 7. Radiografické obrázky zachycené různými vrstvami detektoru 7 tedy obsahují informaci o složení vzorku. Toto složení může být presentováno ve výsledném obraze vystupujícím z řídicí jednotky například pomocí barvy.

- 45 Příklad použití 3 - Potlačení Comptonova rozptylu v transmisní radiografii

Při rentgenové a gama radiografii dochází často ke zkreslení obrazu díky Comptonově rozptylu ve hmotě detektoru. Při Comptonově rozptylu předá gama foton část své energie elektronu, který v místě rozptylu vytvoří ve snímači 1 signál. Rozptýlený foton dále pokračuje v letu jiným směrem se sníženou energií a může tedy vytvořit další signál v jiném místě snímače 1, kde se celý děj

může opakovat. Jeden foton může být tedy detekován v několika místech snímače 1, čímž dochází ke zkreslení obrazu, protože rozptýlené fotony přispívají do míst v obraze, která nebyly zasaženy primárním fotonem. Ve vrstveném pixelovém detektoru 7, lze tyto události vyloučit díky jeho vysokému rozlišení a 3D citlivosti. Dojde-li k vícenásobné detekci a vznikne-li signál v několika pixelech a/nebo vrstvách současně, lze tuto událost v řídicí elektronice, buď zcela vyloučit, nebo zachovat pouze první interakci. K implementaci této funkčnosti je výhodné v konstrukci vrstveného detektoru 7 využít rychlou elektroniku, která je k dispozici například ve čtecím čipu 2 detektoru známým v odborných kruzích pod názvem Timepix3.

Příklad použití 4 - Gama kamera

- Velkou detekční účinnost vrstveného detektoru 7 lze výhodně využít pro konstrukci gama kamery, která se používá pro sledování a vyhledávání gama zdrojů v prostředí. Používá se přitom principu označovaného jako „camera obscura“. V této konfiguraci je vrstvený detektor 7 vybaven vstupním kolimátorem, jakým je například dírka („pin-hole“) nebo tzv. kódovaná apertura a stínění, které jej izoluje od ozáření z jiných směrů, než jsou ty vymezené kolimátorem.

- Příklad použití 5 - Comptonova kamera pro gama záření

- 3D citlivost vrstveného detektoru 7 lze využít pro konstrukci Comptonovy kamery. V této konfiguraci je ve všech vrstvách použit čtecí čip 2 umožňující pro každou interakci záření s hmotou snímače 1 měřit deponovanou energii. Nejčastějším typem interakce tvrdého rentgenového nebo gama záření s hmotou snímačů 1 je Comptonův rozptyl. Pro jeden primární foton může ve vrstveném 7 detektoru dojít k několika rozptylům v řadě, než je celá energie primárního fotonu absorbována. Vrstvený detektor 7 umožňuje zaznamenat celý řetězec těchto interakcí. Díky vysokému rozlišení a 3D citlivosti je velmi nepravděpodobné, že by několik interakcí proběhlo v rámci jediného pixelu. Pokud je pro každou interakci řetězce zaznamenána poloha a deponovaná energie, pak lze zpětnou rekonstrukcí vypočítat, pod jakým úhlem primární foton do vrstveného detektoru 7 vstoupil. Pokud je takto zaznamenáno mnoho primárních fotonů, lze výpočetními metodami sestavit obraz rozložení zdrojů záření v prostoru včetně jejich spekter bez použití kolimátorů.

Příklad použití 6 - Emisní radiografie s gama zářením

- Při emisní radiografii obsahuje zobrazovaný objekt zdroje záření. Úkolem radiografie je zobrazit rozložení těchto zdrojů v objemu objektu. Tato metoda se často používá v medicíně, kdy je do organismu vpraven radioisotop v takové formě, aby bylo možné sledovat jeho pohyb v organismu a usuzovat tak například na funkci některých orgánů. Jedná se o zobrazovací metody označované jako scintigrafie (2D zobrazování), SPECT nebo PET (3D zobrazování). Při této metodě je žádoucí, aby gama záření emitované radioizotopem nebylo absorbováno přímo v organismu, ale uniklo z něj. Z tohoto důvodu bývají voleny radioizotopy produkující pronikavé gama záření o vysoké energii. Použití vrstveného detektoru 7 je tedy díky vysoké detekční účinnosti velmi výhodné. Pro tento účel lze využít výše popsané konfigurace jako je gama kamera a Comptonova kamera.

Příklad použití 7 - Detekce a trasování iontů

- Pro detekci a určení směru letu energetických iontů lze využít 3D citlivost vrstveného pixelového detektoru 7. Ionty pronikají vrstvami detektoru 7 ve většině po přímce a v každé vrstvě vytvoří signál. Energie iontu přitom postupně klesá a může dojít k jeho úplnému zastavení. Pro každý iont lze tedy zpětnou rekonstrukcí určit úhel, pod kterým do vrstveného detektoru 7 vstoupil a v mnoha případech také jeho energii a/nebo hmotnost. Tyto vlastnosti lze velmi dobře uplatnit například při monitorování průběhu iontové terapie (např. protonová terapie nebo uhlíková terapie), nebo pro zobrazování s energetickými ionty jako je například protonové CT.

Příklad 8 použití - Transmisní neutronová radiografie

- Vrstvený pixelový detektor 7 modifikovaný pro detekci neutronového záření poskytuje v oblasti neutronové radiografie lepší prostorové rozlišení a vyšší detekční účinnosti, než většina existujících řešení. Pro pomalé neutrony dosahuje prostorové rozlišení jednotek mikrometrů při detekci

účinnosti na úrovni desítek procent. Mezi vrstvami je konvertor vytvořený jako lepidlo 6 s drce-
ným ${}^6\text{LiF}$ nebo ${}^{10}\text{B}_4\text{C}$, nebo jen zesílená vrstva lepidla 6.

Příklad použití 9 - Multimodální zobrazování

Vrstvený pixelový detektor 7 umožňuje rozeznat jednotlivé typy radiace a v některých případech
5 stanovit i jejich energetické spektrum a další vlastnosti. Lze tak při jediném měření vytvořit ně-
kolik obrazů odpovídajících jednotlivým typům radiace a jejich vlastnostem.

Příklad použití 10 - Radiační monitorování

Pro jednotlivé typy radiace dochází ve vrstveném detektoru 7 často k unikátnímu řetězci inter-
akcí. Vrstvený pixelový detektor 7 umožňuje díky své 3D citlivosti tyto různé typy interakcí
10 rozlišit. Energetické ionty pronikají do hloubky po přímce a v každé vrstvě zanechávají signál
o typické velikosti. Pro detekci neutronu je vrstvený detektor 7 vybaven v každé vrstvě kromě
první neutronovým konvertorem.

Průmyslová využitelnost

Vrstvený pixelový detektor podle technického řešení nalezne uplatnění v medicíně, v průmyslu,
15 u bezpečnostních složek a ve výzkumu.

N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Vrstvený pixelový detektor (7) ionizujícího záření zahrnující alespoň dva polovodičové
pixelové detektory jednotlivých částic, každý je tvořený snímačem (1) připojeným ke čtecímu
čipu (2), přičemž z boku čtecího čipu (2) na části jeho obvodu vystupuje vystupující část (8)
20 s kontaktními ploškami pro připojení vodivých spojů (3), **vyznačující se tím**, že pi-
xelové detektory tvoří alespoň jeden segment (9), ve kterém jsou uspořádány pixelové detektory
do vrstev nad sebou a mezi jednotlivými vrstvami se nachází lepidlo (6), velikost tloušťky čtecích
čipů (2) je do 200 μm , velikost tloušťky snímačů (1) je do 2000 μm , přičemž vystupující části (8)
25 sousedních vrstev se ve směru pohledu kolmém vůči ploše snímače (1) překrývají částečně, nebo
se nepřekrývají, a že vrstvený detektor (7) zahrnuje alespoň jednu nosnou teplovodivou plat-
formu (10) opatřenou alespoň jednou podpůrnou strukturou (5) pro opření alespoň jedné vystu-
pující části (8) čtecího čipu (2).

2. Vrstvený pixelový detektor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že půdorys
snímače (1) a půdorys čtecího čipu (2) bez vystupující části (3) mají tvar čtverce.

3. Vrstvený pixelový detektor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že zahr-
nuje nejméně dvě nosné teplovodivé platformy (10), přičemž je alespoň jedna nosná teplovodivá
platforma (10) opatřena otvorem (11) odpovídajícího tvaru a velikosti pro přiložení snímače (1)
nejvyšší vrstvy následujícího segmentu (9) ke čtecímu čipu (2) spodní vrstvy předcházejícího
segmentu (9).

4. Vrstvený pixelový detektor podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se
tím**, že nosné teplovodivé platformy (10) jsou opatřeny plošným spojem (4) pro připojení vo-
divých spojů (3) a řídicí jednotky.

5. Vrstvený pixelový detektor podle některého z nároků 1 až 4, **vyznačující se
tím**, že lepidlo (6) je polymerní, a že jeho složení obsahuje především lehké prvky.

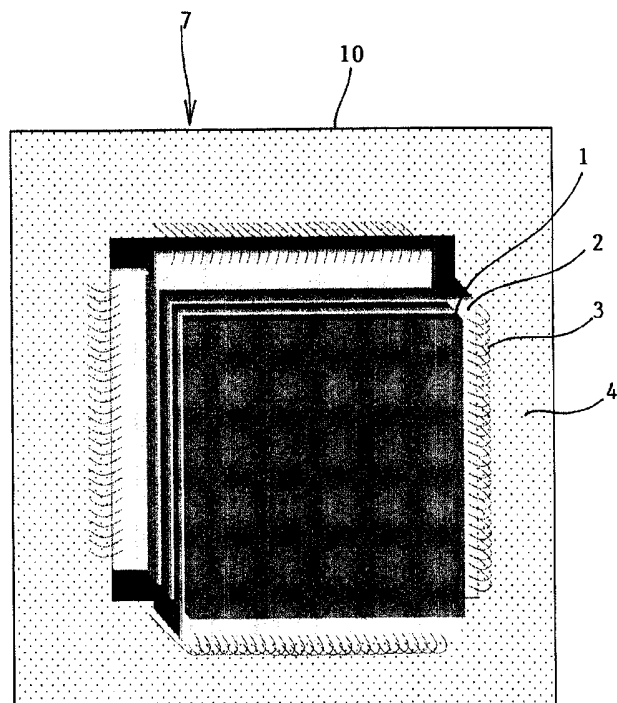
6. Vrstvený pixelový detektor podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se
tím**, že mezi jednotlivé vrstvy je vložen alespoň jeden neutronový konvertor.

7. Vrstvený pixelový detektor podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že neutronový konvertor je tvořen drceným ^6LiF nebo $^{10}\text{B}_4\text{C}$ obsaženým v polymerním lepidle (6).
8. Vrstvený pixelový detektor podle některého z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že alespoň jeden snímač (1) směrem od nejvyšší vrstvy má absorpční schopnost vyšší, než snímač (1) ve vrstvě předcházející.
9. Vrstvený pixelový detektor podle některého z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že v alespoň jedné sousedící dvojici vrstev jsou snímače (1) přivráceny k sobě.
10. Vrstvený pixelový detektor podle některého z nároků 1 až 9, **vyznačující se tím**, že segmenty (9) jsou uspořádány vedle sebe, kde plochy snímačů (1) tvoří souvislý řádek, přičemž jsou vystupující části (8) čtecích čipů (2) uspořádány podél řádku.

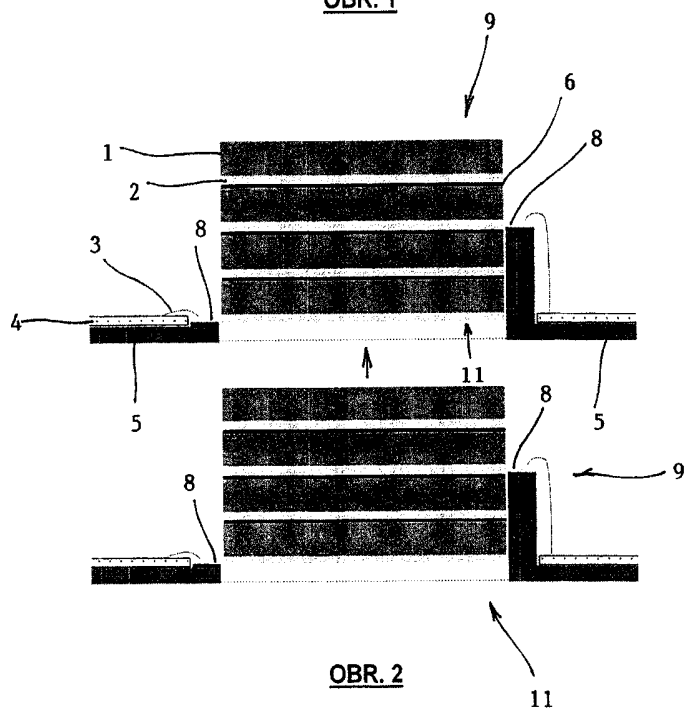
2 výkresy

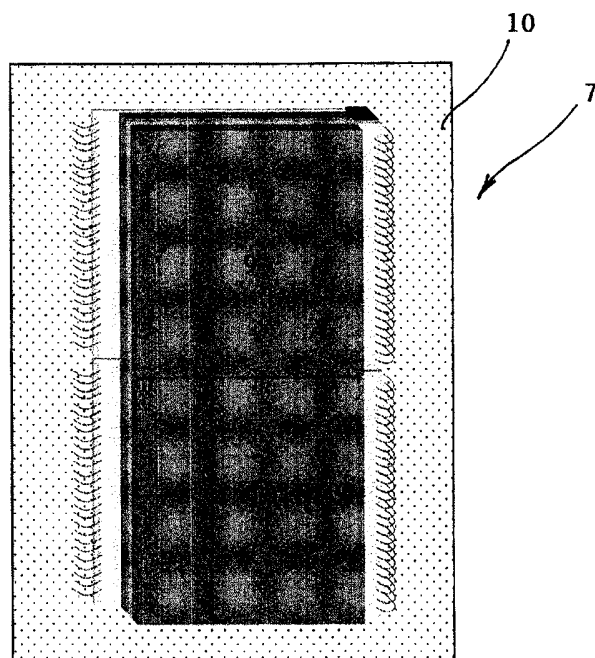
Seznam vztahových značek:

- | | | |
|----|----|--------------------------------------|
| | 1 | snímač |
| | 2 | čtecí čip |
| 15 | 3 | vodivý spoj |
| | 4 | plošný spoj |
| | 5 | podpůrná struktura |
| | 6 | lepidlo |
| | 7 | vrstvený pixelový detektor |
| 20 | 8 | vystupující část |
| | 9 | segment |
| | 10 | nosná teplovodivá platforma |
| | 11 | otvor v nosné teplovodivé platformě. |

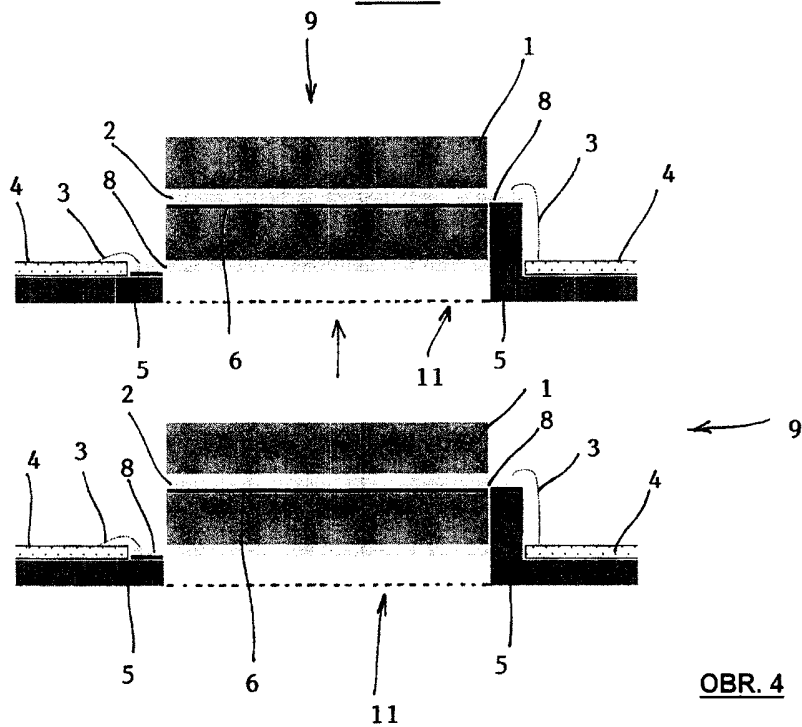


OBR. 1





OBR. 3



OBR. 4

Konec dokumentu