

Polovodičové součástky jako dozimetry ionizujícího záření – křemíková dioda.

Radioaktivita je vlastnost některých atomů samovolně se rozpadat (přeměňovat) na atomy jednodušší, vysílat elektromagnetické záření nebo částice našimi lidskými smysly nepoznáme, je-li nějaká látka radioaktivní či ne; radioaktivitu zachytí pouze speciální měřicí přístroje, detektory, nebo se pozná podle některých doprovodných jevů: např. při silné ionizaci vzduchu se tvoří ozon, který zaznamenáváme čichem. Příčinou nestability některých jader atomů je, že mají nadbytek protonů nebo neutronů v jádře, nebo že jsou tak těžká a složitá, že nemohou existovat ve stabilním stavu. Nuklid je soubor stejných atomů, které mají jednoznačně určený počet protonů a neutronů. Nuklidy téhož prvku, jejichž atomy mají stejný počet protonů, ale různý počet neutronů se nazývají izotopy. Radionuklid je nestabilní nuklid, podléhající samovolné radioaktivní přeměně. Radioizotop je nestabilní izotop prvku, podléhající samovolné radioaktivní přeměně.

Energie záření je důležitou charakteristikou radionuklidu nebo ionizujícího záření. Každý radionuklid vysílá záření o přesně dané energii (v případě záření alfa a gama) nebo s různými energiemi až do jisté max. hodnoty (záření beta). Souhrn všech energií záření daného radionuklidu se nazývá energetické spektrum. Některý zářič může vysílat záření několika druhů a s různou energií. Rozvoj aplikací radionuklidů a ionizujícího záření ve zdravotnictví, v průmyslu, zemědělství, vědeckém výzkumu i dalších oblastech lidské činnosti společně se vzrůstem počtu jaderných elektráren i jiných zařízení využívajících jaderné energie přispěl též ke zvyšování nároků na dozimetrickou kontrolu. Tato skutečnost iniciovala prudký vývoj dozimetrických metod.

Integrovaní dozimetrické metody se používají pro měření neobyčejně širokého rozsahu dávek. Oblasti nejmenších dávek a dávkových příkonů se zabývá osobní dozimetrie a dozimetrická kontrola životního a pracovního prostředí, tedy vlastně oblast radiační hygieny. Rozvoj nových radiačních technologií, stejně jako požadavky dozimetrie v jaderných reaktorech, vedou pak k rozšiřování oblasti měřených dávek až k mimořádně vysokým hodnotám. Každý dozimetr má omezenou oblast použitelnosti. V radiační ochraně je třeba znát dávkový ekvivalent, který dostal ozářený pracovník či jedinec z obyvatelstva, v medicíně dávku, kterou byla ozářena příslušná část těla pacienta, při aplikaci radiačních technologií dávku, obdrženou ozařovaným objektem či materiálem, atp.

Přehled nejdůležitějších dozimetrických veličin a jejich jednotek :

Veličina		Jednotka		
aktivita	A	becquerel	Bq	s^{-1}
emise zdroje	N_z	reciproká sekunda	s^{-1}	s^{-1}
fluence částic	Φ	reciproký čtvereční metr	m^{-2}	m^{-2}
fluence energie	Ψ	joule na čtvereční metr	$J m^{-2}$	$kg s^{-2}$
sdělná energie	ϵ	joule	J	$m^2 kg s^{-2}$
dávka, absorbovaná dávka	D	gray	Gy	$m^2 s^{-2}$
kerma	K	gray	Gy	$m^2 s^{-2}$

expozice	X	coulomb na kilogram	C kg ⁻¹	kg ⁻¹ s A
dávkový ekvivalent	H	sievert	Sv	m ² s ⁻²

Pro měření radioaktivity se využívá řady různých účinků ionizujícího záření. Nejčastěji se měří ionizace vzniklá průchodem fotonu, nebo částice prostředím, nebo se měří vzniklé poruchy v pevné látce, protože množství vytvořeného elektrického náboje je velmi malé, různými metodami se zesiluje, aby byl dobře měřitelný (lavinovité rozšíření elektrického náboje v plynu, zesílení signálu v elektronovém fotonásobiči apod.). U některých metod je výsledný elektrický signál úměrný typu a energii záření. Detektory, které toho využívají se nazývají proporcionální počítače. Existují také metody, které umožňují registrovat jedinou částici a sledovat její stopu; typickým příkladem je Wilsonova mlžná komora, kde se kolem stopy částice vytvoří miniaturní kapičky, čímž se stopa zviditelní a lze ji fotograficky zachytit; jiným příkladem je bublinková komora s kapalným vodíkem, nebo silná vrstva fotografické emulze. Pomocí magnetického pole je možno dráhy nabitých částic zakřivit, analyzovat stopy a určit přesně druh částice, která stopu způsobila. Dále se k měření využívá např. zčernání fotografické emulze, což je princip filmové dozimetrie; je to metoda k určování malých dávek, zejména při dozimetrii osob; stupeň zčernání je pak úměrný dávce záření. Pro měření vysokých dávek se zpravidla používají změny optických vlastností látek (změna barvy), nebo množství uvolněného tepla (tzv. kalorimetrie), nebo změny elektrických vlastností **polovodičových** součástek - měření se provádějí buď relativně (častější) nebo absolutně (pouze v případech, kdy je to nezbytně nutné, protože je k nim zapotřebí velmi složité speciální aparatury).

Detektory plynové – jsou nejčastěji používanými detektory záření; jsou založeny na primárních účincích záření – ionizaci a excitaci atomů plynu. Plyn je uzavřen v kovovém obalu s elektrodou uprostřed, mezi obal a elektrodou je vloženo napětí, jakmile do detektoru vnikne záření, způsobí ionizaci, která se projeví jako ionizační proud mezi elektrodou a obalem; podle závislosti proudu na napětí se rozlišují různé typy detektorů, např. ionizační komora, proporcionální počítač nebo Geiger-Müllerův počítač.

Detektory moderační slouží k detekci neutronů a ke stanovení jejich energie; jsou tvořeny látkou, která účinně zpomaluje (moderuje) neutrony. Je to zpravidla látka s vysokým obsahem vodíku, např. parafin, polyetylén apod.

Detektory scintilační jsou založeny na podobném principu jako termoluminiscenční dozimetrie; záření vybudí ve scintilátoru elektrony do vyššího energetického stavu a návrat elektronů do základního stavu se projeví jako světelné záblesky, které se měří fotonásobičem; scintilátory mohou být pevné krystaly sloučenin anorganických (nejčastěji jodidu sodného) nebo organických (např. antracen), nebo roztoky či suspenze organických scintilátorů v organickém rozpouštědle, např. Toluenu; vzorky se pak měří přímo rozpuštěné ve scintilátoru.

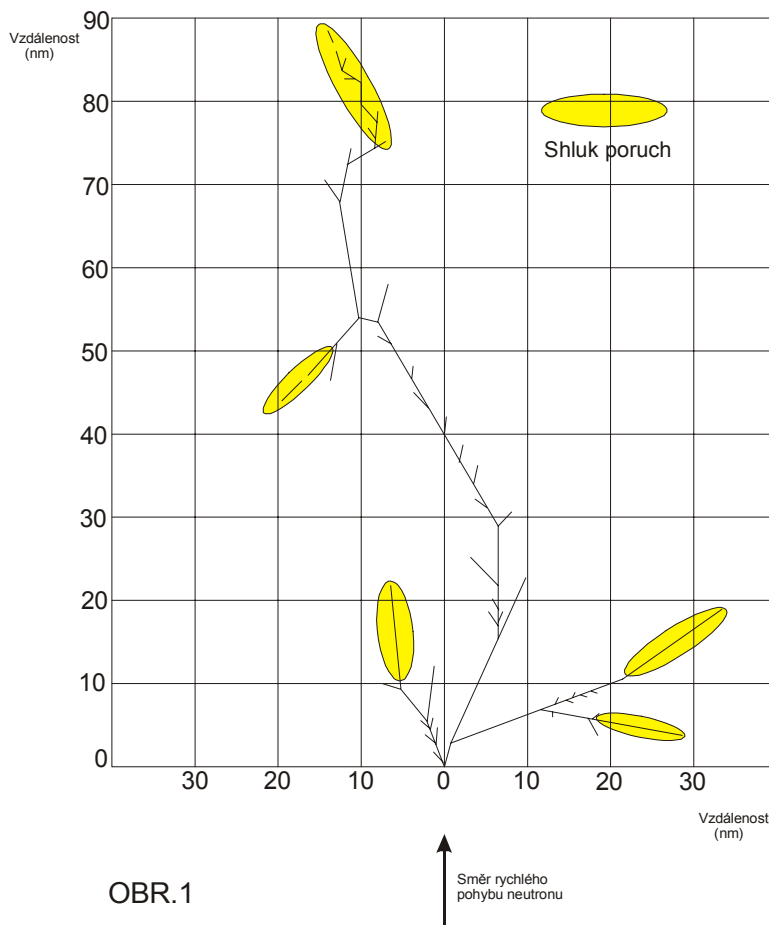
Detektory polovodičové - záření způsobí v polovodiči přeskok elektronu do tzv. vodivostního pásu polovodiče, působí-li na polovodič elektrické pole, projeví se tento přeskok jako zvýšení vodivosti; vhodné elektronické zařízení zaznamenává elektrický impuls; polovodičové detektory jsou tvořeny většinou monokrystalem křemíku nebo germania se stopovým množstvím lithia, nebo superčistým germaniem; ke svému provozu většinou potřebují chlazení a teplotu kapalného dusíku.

Společným problémem většiny nejrozšířenějších metod integrující dozimetrie je jejich poměrná velká složitost, daná komplikovaným převodem energie předané ionizujícím zářením materiálu dozimetru na měřenou odezvu (např. prostřednictvím optického signálu, který se dále převádí na elektrický). Z tohoto hlediska by bylo výhodnější, kdyby změna

vyvolaná v materiálu dozimetru byla měřitelná přímo elektrickou cestou, protože elektrická měření jsou přesná a technicky dobře zvládnutelná. To vedlo ke snaze využít i pro dozimetrické účely radiační změny polovodičových součástek. V souvislosti s rozvojem elektroniky pro jaderné aplikace se dostaly do popředí zájmu otázky poškození elektroniky působením ionizujícího záření. Ve snaze o dozimetrické použití polovodičových součástek jsou zkoumány a aplikovány jak komerční, tak i součástky speciálně vyvinuté nebo upravené. I když se některé z nich již úspěšně prosadily i do komerčního využití (zejména křemíková dioda pro havarijní dozimetrii neutronů), je skutečností, že citlivost těchto metod je nižší. Za nejdůležitější přednost je možné považovat relativně jednoduché vyhodnocování.

Křemíková dioda.

Přírodní křemík je složen ze tří stabilních nuklidů ^{28}Si , ^{29}Si , ^{30}Si . Z nich nejvíce je zastoupen první – 92,27 %. Při interakci křemíku s tepelnými neutrony se uplatňují hlavně reakce (n, γ) , z nichž dozimetricky využitelná by byla aktivace $^{30}\text{Si} (n, \gamma) ^{31}\text{Si}$, nicméně citlivost takového dozimetru by byla velmi nízká. Podstatně významnější jsou z dozimetrického hlediska interakce rychlých neutronů s jádry křemíku, především jejich rozptyl. Touto interakcí přemístěné křemíkové atomy vytvářejí poruchy krystalové mřížky, ovlivňující některé vlastnosti křemíku, jejichž změna je funkcí absorbované dávky neutronů. Při srážce rychlého neutronu s atomem křemíku dochází k vyrazení atomu z jeho mřížkové polohy. Odražený atom může vyrazit další atomy, takže dochází ke kaskádnímu procesu, jehož typický příklad je na obr. 1. Ve srážkách dochází k předávání energie po malých částech a většina poruch vzniká přibližně ve směru počátečních odražených atomů.



OBR. 1

Při vyšších energiích odražených atomů se část energetických ztrát projeví jako ionizace. Poruchy vzniklé v křemíku působením neutronů se značně liší od běžně přítomných poruch.

Z jejich charakteru a chování za daných podmínek pak plyne vhodná metodika měření odezvy indukované ozářením. Obvyklé poruchy v křemíku mají charakter izolovaných defektů. Je-li např. v křemíku typu P vytvořen izolovaný defekt s donorovým typem hladiny, bude zachytávat díry a stane se kladně nabitým. Tím se odstraní jedna díra z valenčního pásu a vznikne efektivní rekombinační centrum (past pro minoritní elektrony). Taková rekombinační centra vznikají v křemíku vlivem příměsí a mřížkových poruch. Také o většině defektů formovaných elektronovým nebo fotonovým zářením může být pojednáno jako o izolovaných defektech. Poruchy vzniklé při interakci s rychlými neutrony jsou však mnohem složitější. Např. neutron o kinetické energii 1 MeV předá dostatečnou energii k vytvoření několika set vyražených atomů v oblasti o průměru asi 50 nm. Uvnitř těchto rozrušených oblastí, tj. shluků defektů, bude hustota defektů mnohem vyšší než hustota atomů příměsí v křemíku. Defekty uvnitř shluků mohou pak mít výrazně odlišné chování než tytéž defekty, jsou-li rozloženy izolovaně v krystalu, a mají vliv zejména na dobu života minoritních nosičů náboje. Vliv ozáření polovodiče neutrony na tento parametr může být vyjádřen prostřednictvím tzv. konstanty poškození K , definované vztahem,

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + K\Phi, \quad (1)$$

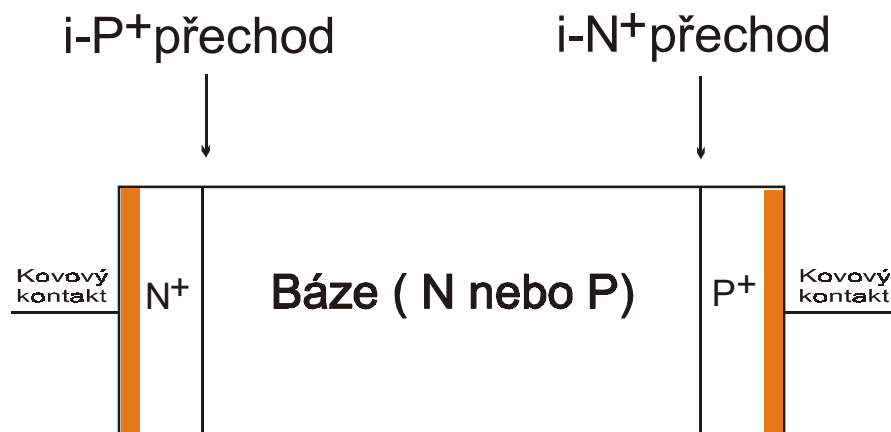
kde τ a τ_0 je střední doba života minoritních nosičů před ozářením a po něm a Φ je fluence rychlých neutronů. Je možné nahradit fluenci dávkou od rychlých neutronů a definovat konstantu poškození prostřednictvím dávky v křemíku. Konstanta poškození je funkcí energie neutronů, vlastnosti polovodičového materiálu i podmínek měření. Příčiny zkracování střední doby života minoritních nosičů spočívají v poruchách v elektrostatickém potenciálu v látce, vzniklých v místech shluků vyražených atomů. V důsledku těchto poruch dochází ke změnám v rozmístění rekombinačních center pro nosiče náboje a usnadnění záchytu minoritních nosičů.

Změna doby života minoritních nosičů je ovšem veličina, která se měří obtížně. Proto je pro dozimetrické účely výhodné použít takovou polovodičovou součástku, jejíž charakteristiky jsou na střední době života minoritních nosičů silně závislé. Tento požadavek splňuje především křemíková dioda typu N^+PP^+ nebo P^+NN^+ s širokou bází. Napětí na diodě, kterou prochází proud v přímém směru, je citlivou funkcí doby života minoritních nosičů, takže jeho změna při konstantním proudu může být použita jako míra dávky.

Jinou možnou variantou vyhodnocování je měření fotovoltaické odezvy fotodiod (měření zkratového fotoelektrického proudu). Při vhodných osvětlovacích podmínkách je zkratový fotoelektrický proud I úměrný součinu $a(\alpha)L$, kde $a(\alpha)$ je součinitel absorpce pro světlo o vlnové délce λ a L je difúzní délka, související se střední dobou života minoritních nosičů podle vztahu

$$L = \sqrt{D\tau} \quad (2)$$

kde D je difúzní konstanta. Vzhledem k jednoduchosti a nenáročnosti na přístrojové vybavení se však většinou dává přednost měření změny napětí na diodě při konstantním proudu. Schematické znázornění diody N^+PP^+ nebo P^+NN^+ se širokou bází je na obr. 2.



Obr. 2 Schematické znázornění diody se širokou bází.

Délka báze se pohybuje obvykle kolem 1,2 mm a koncentrace nečistot v této oblasti je řádově 10^{14} cm^{-3} . Oblasti P^+ a N^+ jsou úzké (mají tloušťku asi $25 \mu\text{m}$) a koncentrace nečistot v nich je kolem 10^{18} cm^{-3} . Tyto oblasti s vysokou koncentrací nečistot se získávají plynnou difúzí bóru a fosforu. Kovové kontakty na koncích diody mohou být různé (napařená vrstva C/Au, nikl apod.), povrch diod je chráněn lakem nebo plastickým krytem. Celkové rozměry diod nepřesahují $3 \times 2 \times 2 \text{ mm}$.

Měření úbytku napětí na diodě je poměrně snadné. Potřebné zařízení je tvořeno zdrojem konstantního proudu a voltmetrem. Vyhodnocování se musí dít časově krátkými proudovými impulsy s konstantní velikostí a s délkou do 0,1 s, aby nedocházelo k významnějšímu ohřevu diody protékajícím proudem a tím i k teplotní změně jejích parametrů.

Pro citlivost, definovanou jako změna úbytku napětí na diodě vztažená na jednotku příslušné dozimetrické veličiny (fluence, dávky atp.), platí vztah

$$\frac{dU}{d\Phi} = K\tau(\Phi) \cdot f\left(\frac{d}{L}\right), \quad (3)$$

kde K je konstanta poškození definovaná ve vztahu (1), τ doba života minoritních nosičů a f je složitá funkce poměru šířky báze d k difúzní délce L . Je tedy zřejmé, že citlivost diody závisí na mnoha faktorech, především na parametrech diody, jako je šířka báze a doba života minoritních nosičů, na hodnotě napětí na neozářené diodě U_0 , ale také na velikosti impulsu proudu použitého při měření a na dávce, kterou dioda obdržela. Poslední uvedená skutečnost znamená, že závislost odezvy diody na dávce není obecně lineární. Srovnání křivek závislosti změny napětí na dávce ve tkáni pro některé komerční diody (Phylatron PH 30 a PH 50 americké výroby, Hafo 5422 švédské výroby a AEG HL 668 německé výroby) je pro dvě různé energie neutronů. Je ovšem třeba říci, že uvedené křivky lze chápat spíše jako příklad. Technologie výroby diod způsobuje, že nejsou vždy produkovány diody stejných vlastností ani v rámci jednoho typu od jednoho výrobce. To se projeví rozdíly v hodnotách U_0 , a tedy i poněkud odlišnou citlivostí, takže se v praxi neobejdeme bez výběru diod a jejich případné individuální kalibrace.

Vedle závislosti odezvy na dávce je důležitým dozimetrickým parametrem energetická závislost. Ukazuje se, že v energetickém rozmezí od 350 keV do 14 MeV lze odezvu křemíkové diody na neutrony považovat za ekvivalentní biologické tkáni (uvažováno v kermě

ve tkáni) s chybou nepřevyšující $\pm 20\%$. Pro nižší energie neutronů citlivost rychle klesá. Chování diod při změnách teploty bude při měření úbytku napětí záviset především na odporu materiálu, který je ovlivněn jeho čistotou a koncentrací poruch, a dále na kompenzovanosti materiálu. Teplotní závislost při měření voltampérové charakteristiky není v důsledku rozdílů v technologiích, zejména povrchového zpracování, u neozařených diod stejná. Pozoruje se jak kladný, tak i záporný teplotní součinitel změn napětí U_0 na diodě při konstantním proudu. U ozářených diod převládne vliv nově utvořených mřížkových defektů, a proto je teplotní součinitel u všech diod obdobný a jejich odezva s teplotou roste o více než 1 % na $^{\circ}\text{C}$. Tuto výraznou teplotní závislost je třeba buď kompenzovat pomocí referenční diody nebo diody během měření termostatovat.

Poruchy vytvořené v krystalové mřížce křemíku vlivem ozáření rychlými neutrony nejsou při pokojové teplotě zcela stabilní, dochází k fadingu odezvy. Pro české diody činí fading kolem 13% za dva týdny a 15% za měsíc. To znamená, že nejpodstatnější složkou je krátkodobý fading, který je možné téměř úplně odstranit ohřevem ozářené diody po dobu dvou minut na 100°C . Tímto ohřevem se urychlí únik méně stabilních poruch, avšak sníží se citlivost asi o 20 %.

Vyžháním ozářené diody je možné akumulovaný signál odstranit. Vyžhání na 250°C po dobu 4 minut vede k odstranění asi 70 % odezvy, k úplnému jejímu vymizení je nutný ohřev asi na 500°C . Ten lze ovšem použít pouze u diod, které nemají pájené kontakty a jsou konstrukčně navrženy se zřetelem na odolnost vůči této teplotě. Diody pak lze použít opakovaně, aniž by se snížila jejich citlivost. S ohledem na některé zmíněné vlastnosti není možné křemíkovou diodu stále ještě považovat za dozimetr, který by byl všeobecně chápán jako rutinně použitelný. Je však nepochybné, že v současné době neexistuje žádný jiný neutronový dozimetr pro oblast havarijních dávek, který by byl srovnatelně jednoduchý a snadno vyhodnotitelný. To vede např. k jeho zavedení jako havarijního neutronového dozimetru osobní dozimetrie.

V jiné aplikaci v kombinovaném dozimetrickém systému pro měření záření gama a neutronů, tvořeném radiofotoluminiscenčním sklem a křemíkovou diodou produkce AEI Semiconductors, se zpracování výsledků měření děje automaticky na mikropočítači. Tím se kompenzují základní nedostatky diody, tj. nelineární odezva v závislosti na dávce, variace napětí na neozařené diodě (tzv. předdávka) mezi jednotlivými kusy a teplotní závislost. Značná pozornost je věnována otázce citlivosti diod. Zatímco např. u původních diod začátkem sedmdesátých let byla prahem detekce dávka kolem 70 mGy (s chybou měření $\pm 25\%$), novější a citlivější výrobky vykazují citlivost vyšší než 1 mV/mGy, a jsou tedy schopny použití od dávek nejméně o řád nižších. Této vysoké citlivosti se dosahuje volbou tvaru diody (jako základní podmínka se uvádí, že poměr velikosti hraničních ploch k objemu musí být alespoň čtyřnásobkem převrácené hodnoty šířky báze) a použitím metody iontové implantace pro vytvoření přechodových vrstev.

Důležitou otázkou při dozimetrickém použití diod ve směsných polích neutronového a fotonového záření je jejich odezva na fotony X a gama. Z charakteru poruch, které odpovídají za měřenou odezvu, plyne, že by měla být podstatně menší než na neutrony. Podrobná měření pro švédské křemíkové diody typu 5422 provedli A. M. Eid a M. A. Goma. Překrývají rozsah dávek od 10 mGy do 700 Gy pro neutrony a 10 až 750 mGy pro záření gama. Naměřená citlivost na neutrony je 67 mV/Gy, pro záření gama do dávky 60 kGy je 17,6 mV/kGy a s dále rostoucí dávkou klesá, takže s chybou $\pm 7\%$ ji lze do dávky od 70 do 700 kGy vyjádřit hodnotou 10,17 mV/kGy. To znamená, že citlivost na záření gama je asi 3800 až 6600krát menší než na rychlé neutrony. K podobným výsledkům vedou i měření, která prováděli E. A. Kramer – Ageev a spolupracovníci v různě moderovaných spektrech reaktoru IRT – 2000 s komerčními křemíkovými diodami D 206.

Kromě havarijní dozimetrie neutronů se křemíková dioda uplatňuje i v dalších aplikacích, kde je potřebné měřit dávky od rychlých neutronů. Jednou takovou oblastí jsou měření v aktivní

zóně jaderných reaktorů. Použití v energetických reaktorech je sice nereálné vzhledem k vysokým teplotám v aktivní zóně, ve výzkumných reaktorech s nulovým nebo malým výkonem lze však dosáhnout dobrých výsledků, při odpovídající kalibraci nemusí chyba převyšovat $\pm 2,5$ %. Také do dozimetrických měření při terapeutické aplikaci neutronů již křemíková dioda proniká. Vzhledem k jejím malým rozměrům připadá v úvahu i použití in-vivo přímo na pacientech. Tyto experimenty byly uskutečněny např. na cyklotronové ozařovací jednotce v londýnském Hammersmith hospital. Srovnání s metodou měření pomocí aktivace indiových tabletek, používanou zde dříve, ukázalo dobrý souhlas, přesnost měření dávky se odhaduje na ± 5 %.

Jak již bylo uvedeno, křemíkové diodě byla věnována značná pozornost i u nás. Vývoj směřoval především ke zvýšení citlivosti vhodnou volbou jak geometrických, tak i materiálových parametrů. K tomu zároveň byla rozvíjena i potřebná teoretická základna studií poznatků o mechanismu radiačních účinků v křemíku. Srovnávací měření, např. ve svazcích z pulsních reaktorů IBR-2 a IBR-30, ukazují na dobrý souhlas výsledků získaných tímto dozimetrem s jinými dozimetrickými metodami. Komerční výroba v Ústavu pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů Praha a zavedení křemíkové diody do celostátní služby osobní dozimetrie jako havarijního dozimetru rychlých neutronů představují užitečný krok k masovějšímu rozšíření tohoto dozimetru.

Jako příklad uvádím jeden z možných dozimetrů na bázi křemíkové diody v současnosti na trhu :

Osobní varovný dozimetr RAD-60

Osobní varovný dozimetr RAD-60 je přesný přístroj měřící radioaktivní záření pro spolehlivou detekci a registraci jeho přítomnosti tak, aby zajistil osobní bezpečnost uživatele proti radiačnímu riziku. Je vhodný pro každodenní aplikaci v podmínkách individuálního samostatného monitorování. Programovatelné parametry a schopnost pracovat za extrémních podmínek prostředí z něj činí všestranný a praktický osobní dozimetr. Rozměrově malý lehký osobní dozimetr může být nošen uživatelem kdekoliv, kde je potřeba po celou dobu průběžně a spolehlivě registrovat akumulovanou dávku. Přednastavitelné alarmy upozorní uživatele, pokud jsou meze expozice překračovány.

Osobní dozimetr RAD-60 s alarmem poskytuje ve srovnání s konvenčními ionizačními komorami lepší rozlišení, širší měřící rozsah a vyšší odolnost a spolehlivost a nabízí užitečné dostatečné funkce jako číslicové zobrazení v reálném čase a uživatelsky nastavitelné alarmy. Řešení postavené na křemíkovém polovodičovém detektoru umožňuje kompaktní provedení a další konstrukční charakteristiky účinně eliminují vnější vlivy jako otřesy, vlivy radiové frekvence a statického náboje.

RAD-60 je napájen z baterií a používá jeden standardní alkalický článek velikosti AAA. Hladké a ergonomické provedení pouzdra RAD-60 je vodotěsné a snadno dekontaminovatelné.

Specifikace

Detekované záření :	Gama nebo X-záření
Typ detektoru	energeticky kompenzovaná Si dioda
Rozsah měření :	dávka : 1 μ Sv – 9,99 Sv
	Dávkový příkon : 5 μ Sv/h – 3 Sv/h

Konfigurace

Unikátním rysem RAD-60 je možnost instalovat různé konfigurace dozimetru přes infračervený komunikační port dozimetr/čtecí zařízení, aniž by bylo nutno demontovat jednotku. Tato vlastnost činí přístroj ideálním pro uživatele, kteří mají potřebu využívat jeden a tentýž přístroj pro různé aplikace. S konfiguračním zařízením ADR-1/50 je možno aplikovat několik různých rychlých konfigurací, které mohou být kdykoliv nahrány do dozimetru, a tak

měnit charakter provozu dozimetru přesně podle potřeb různých uživatelských skupin a situací.

Jednou konfigurací může být záměna konvenčního tužkového dozimetru, který má pouze schopnost zobrazovat akumulovanou dávku. Další konfigurace dovoluje použití zvukových alarmů a případně dílčího užití tlačítka pro změnu ze zobrazení dávky na dávkový příkon. Třetí konfigurace umožňuje všechny možné funkce včetně vypnutí a zapnutí přístroje. S použitím čtecí hlavy ADR-1/50 a přídavného dozimetrického software je možno vybudovat dozimetrický systém pracující v reálném čase a obsahující uživatelskou databázi s historií dávek personálu při práci s ionizujícím zářením.

Jaderné záření s následnou detekcí je využíváno v řadě oborů při různých aplikacích, kde se buď indikují změny v pohlcování záření (např. hlásiče požáru, tloušťkoměry, hladinoměry, defektoskopy) nebo elektricky nabitě částice vyvolávají elektrickou vodivost vzduchu, čímž se dá např. odvést nežádoucí elektrický náboj, dá se zamezit výbojům statické elektřiny, v jiných případech se do potrubí nebo kabelů vhání plyn s radioaktivním indikátorem, jehož únik je bezpečným ukazatelem, že v daném místě je netěsnost, porucha, trhlina apod. a nabízí se mnohá další využití.

Literatura :

Musílek, L.: Dozimetrie ionizujícího záření : (integrující metody), FJFI ČVUT, Praha, 1992

Internet : <http://www.2zskolin.cz/jadfyz/zar/zareni.html>

Firma : Ing. Petr Šimeček - RDS, Hlinecká 683, Týn nad Vltavou

Referát zpracoval : **Karel Macht, II.roč MVT bak, komb.studium**