

D.5 Vyhodnotenie detekčných charakteristík

REPORT

Vyhodnotenie detekčných charakteristík SiC a GaAs detektorov

Názov projektu	Nové polovodičové materiály pre pixelové senzory s využitím pre digitálnu rádiografiu
Akronym projektu	PIXELRAD
Číslo projektu	09I05-03-V02-00073
Dátum začiatku projektu	Jan-24
Dátum ukončenia projektu	Aug-26
Dátum reportu	Jun-26

Metódy:

- Meranie energetických spektier alfa žiarenia z rôznych zdrojov: kalibračný trojitý alfa žiarič 238-Pu, 239-Pu, 244-Cm a 241-Am, s cieľom určiť detekčné vlastnosti:
 - o CCE (Charge Collection Efficiency) – účinnosť zberu nosičov náboja
 - o FWHM (Full Width at Half Maximum) – energetické rozlíšenie
- Vyhodnotenie detekčných vlastností v závislosti od:
 - o typu ohmického kontaktu (GaAs detektory)
 - o typu blokujúcej štruktúry: PN, Schottky (SiC detektory)
 - o plochy detektora (GaAs aj SiC detektory)
 - o aplikovaného napätia ovplyvňujúceho aktívnu hrúbku detektora (GaAs aj SiC detektory)

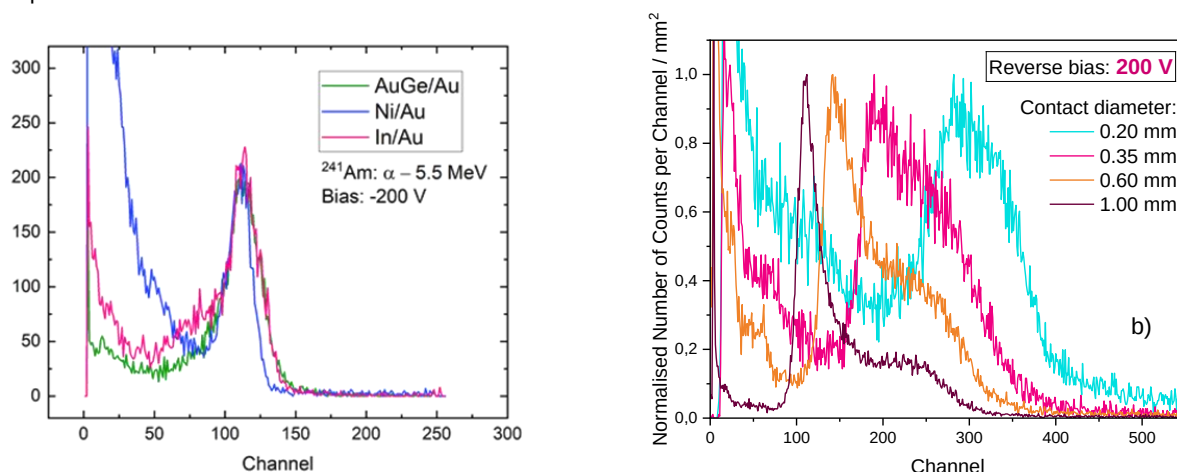
Semi-izolačné (SI) GaAs detektory

1. Semi-izolačné (SI) GaAs detektory s hrúbkou 215 μm , s Ti/Pt/Au Schottky kruhovou elektródou s priemerom 200 μm boli skúmané z hľadiska vplyvu typu ich celoplošnej ohmickej elektródy na detekčné vlastnosti detektora. Pripravené boli tri typy detektorov s ohmickými elektródami z Au/Ge/Ni, In/Au a Ni/Au. Porovnanie priebehov nameraných alfa spektier 241-Am s energiou alfa častíc 5,5MeV reprezentačných vzoriek detektorov zobrazuje Obr. 1 (vľavo) pri optimálnom pracovnom napätí -200V. Výsledky ukazujú, že vplyv testovaného typu ohmických kontaktov na detekčné vlastnosti SI GaAs detektorov je v prípade CCE nemerateľný a v prípade FWHM minimálny. Pozícia píku (~CCE) sa nemení v závislosti od typu elektródy a FWHM sa líši len minimálne: 21.6 vs. 18%.
2. Semi-izolačné (SI) GaAs detektory s hrúbkou 350 μm , s Ti/Pt/Au Schottky kruhovou elektródou s rôznym priemerom a s vylepšenou celoplošnou ohmickou elektródou z Ni/AuGe/Au trojvrstvy boli vyhodnotené z hľadiska vplyvu plochy detektora na detekčné vlastnosti. Porovnanie priebehov nameraných alfa spektier 241-Am s energiou alfa častíc 5,5MeV reprezentačných vzoriek detektorov s rôznym priemerom elektródy (definuje fyzickú plochu detektora) zobrazuje Obr. 1 (vpravo), pri optimálnom operačnom napätí -200V. V prípade nameraných spektier v dôsledku výraznej nesymetrie pík FWHM nebolo vyhodnocované. Výsledky CCE sú zobrazené na Obr. 2 (vľavo) v závislosti od plochy detektora a pre rôzne aplikované záverné napätia. Možno pozorovať, že so zmenšujúcou sa plochou detektora narastá CCE pri všetkých aplikovaných napätiach, čo je výhodou pri malých pixelových elektródach radiačných

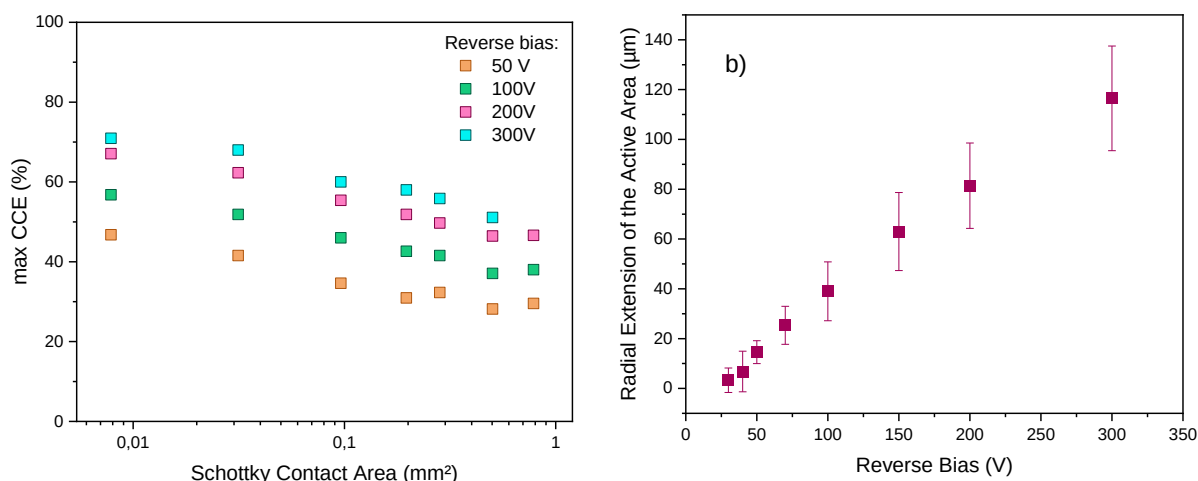
D.5 Vyhodnotenie detekčných charakteristík

kamier. Taktiež možno pozorovať, že pri vyššom závernom napätí, dosiahne detektor vyššie CCE.

- Podrobnou analýzou počtu zaregistrovaných alfa častíc v prípade SI GaAs detektorov s hrúbkou 350 μm , s Ti/Pt/Au Schottky kruhovou elektródou s rôznym priemerom a s vylepšenou celoplošnou ohmickou elektródou z Ni/AuGe/Au sme zistili, že s rastúcim napätím počet zaregistrovaných častíc (plocha pod píkom) narastá pri zachovanej geometrii ožarovania, kedy okrem elektródy dopadajú častice z plošného zdroja aj na okolitý povrch GaAs, čo je možné vysvetliť rozširovaním aktívnej plochy detektora za hranice elektródy, keďže alfa častice sú registrované so 100% detekčnou účinnosťou. Z vyhodnotených dát bola určená priemerná veľkosť rozšírenia aktívnej plochy detektora za hranice jeho elektródy, pre rôzne veľkosti detektorov podľa napätia, ktorá je zobrazená na Obr. 2 (vpravo) pre rôzne veľké elektródy GaAs detektorov. Možno vidieť, že rozšírenie narastá s aplikovaným záverným napätím a pri hodnotách bežného operačného napätia -200V dosahuje približne 80 μm , čo v prípade tesného usporiadania pixelov v radiačnej kamere s medzerou cca 20 μm spôsobuje vážne problémy. Uvedené rozšírenie nezávisí od veľkosti detektora, len od aplikovaného napätia.



Obr. 1: Porovnanie priebehov nameraných alfa spektier ^{241}Am s energiou alfa častíc 5,5MeV reprezentačných vzoriek detektorov s rôznym ohmickým kontaktom (vľavo) a s rôznou plochou Schottkyho elektródy (vpravo) pri optimálnom pracovnom napätí -200V.

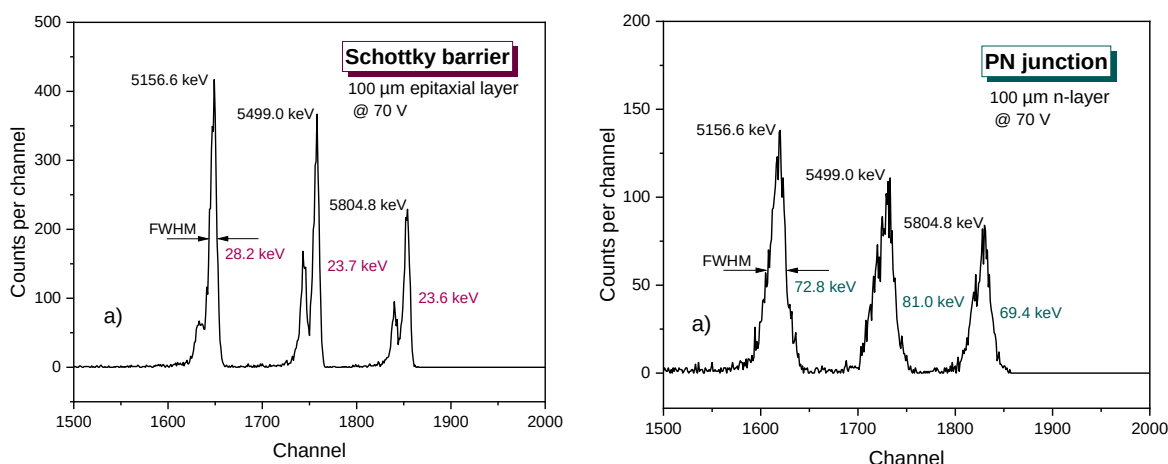


D.5 Vyhodnotenie detekčných charakteristík

Obr. 2: Porovnanie CCE v závislosti od plochy detektora a pre rôzne aplikované záverné napätia reprezentačných vzoriek detektorov (vľavo) a veľkosť priemerného rozšírenia aktívnej plochy detektora za hranice jeho elektródy (vpravo) pri optimálnom pracovnom napätí -200V.

SiC detektory

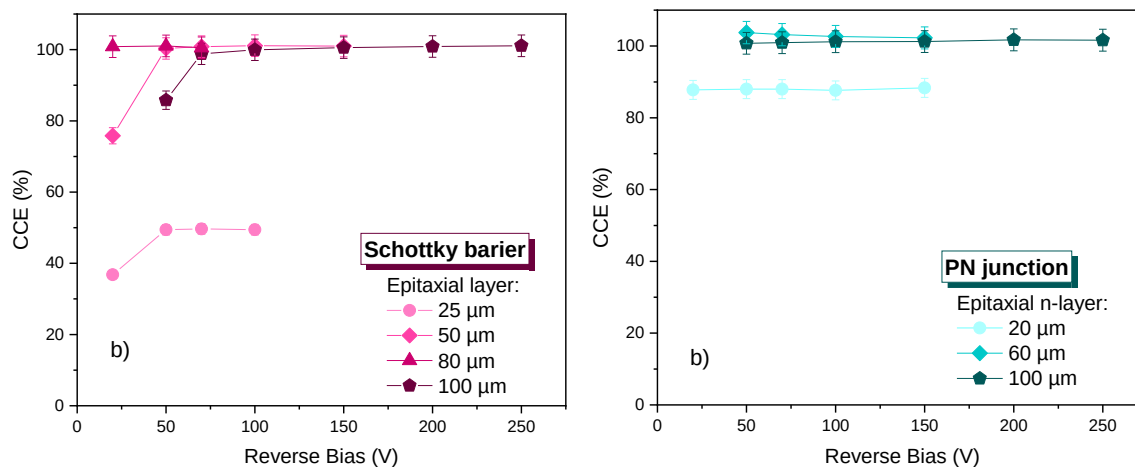
- Skúmané boli dve hlavné skupiny SiC detektorov z SiC polytypu 4-hexagonal (4H), vyrobené z tenkej epitaxnej vrstvy 4H-SiC narastenej na 350 μm SiC substráte. Prvá skupina detektorov mala blokujúcu štruktúru s Schottky kontaktom z Ni/Au a druhá skupina bola pripravená ako PN priechod z 4H-SiC dopovaného dusíkom resp. hliníkom. Obr. 3 (vľavo) zobrazuje typické alfa spektrum troj-žiariča alfa 238-Pu, 239-Pu, 244-Cm s energiami v rozsahu 5-6 MeV namerané SiC detektorom hrúbky 100 μm so Schottkyho bariérou a Obr. 3 (vpravo) rovnaké spektrum, namerané SiC detektorom s PN štruktúrou hrúbky 100 μm . Merania boli realizované pri rovnakom závernom napätí 70V. Zo spektier vidno, že detektor so Schottkyho bariérou má lepšie energetické rozlíšenie, keďže rozlišuje prvé dve dominantné energie hlavných troch píkov trojžiariča, ktoré sú v prípade PN detektorov ťažko rozpoznateľné. Hodnoty FWHM sa pohybujú v rozmedzí 23 až 28 keV pre Schottkyho detektory a 69 až 81 keV v prípade PN detektorov s hrúbkou epitaxnej vrstvy 100 μm .



Obr. 3: Typické alfa spektrum troj-žiariča alfa 238-Pu, 239-Pu, 244-Cm namerané SiC detektorom hrúbky 100 μm so Schottkyho bariérou (vľavo) resp. SiC detektorom s PN štruktúrou hrúbky 100 μm (vpravo).

- Okrem typu blokujúcej štruktúry bol v prípade SiC detektorov vyhodnotený vplyv hrúbky epitaxnej vrstvy na detekčné vlastnosti štruktúr. Detektory boli pripravené z epitaxných vrstiev SiC s hrúbkami v intervale 20 až 100 μm . Výsledné CCE pre oba hlavné typy SiC detektorov rôznych hrúbok, v závislosti od záverného napätia detektora sú zobrazené na Obr.4.

D.5 Vyhodnotenie detekčných charakteristík



Obr. 4: CCE SiC detektorov rôznych hrúbok v závislosti od záverného napätia detektora pre Schottkyho detektory (vľavo) a pre PN detektor (vpravo).

Z meraní vidieť, že okrem najtenších detektorov (20 a 25 μm) detektory všetkých ostatných hrúbok dosiahnu 100% CCE veľmi rýchlo už pri závernom napätí 100V, a to pre oba typy, Schottkyho aj PN, detektory.

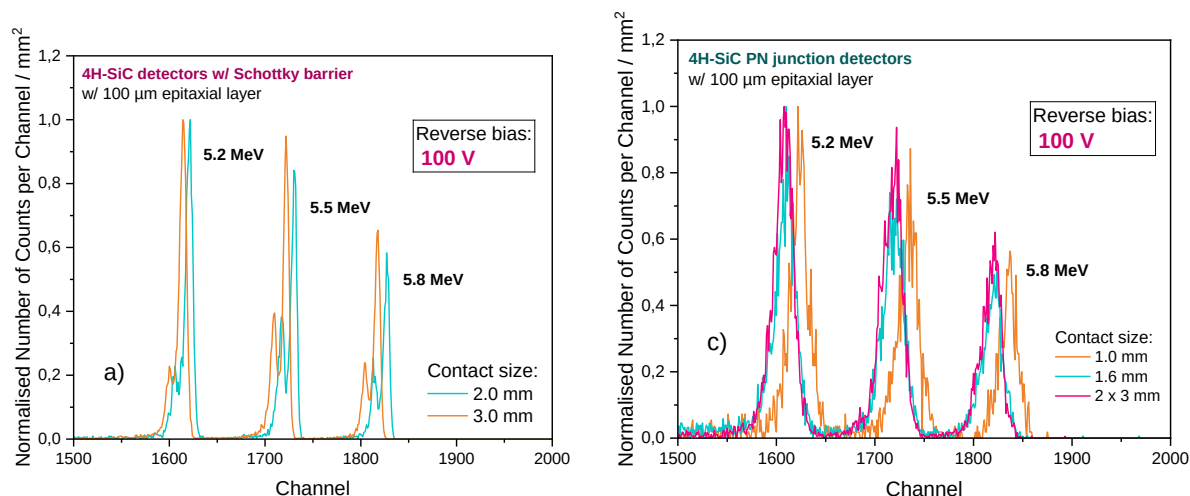
Tabuľka 1. sumarizuje energetické rozlíšenie detektorov vzhľadom na typ detektora (Schottky, vs. PN), hrúbku epitaxnej vrstvy pri optimálnom pracovnom napätí v rozsahu 20 až 250V.

Tab. 1.: Energetické rozlíšenie SiC detektorov vzhľadom na typ detektora (Schottky, vs. PN), hrúbku epitaxnej vrstvy pri optimálnom pracovnom napätí v rozsahu 20 až 250V.

Thickness of epi layer (μm) Sch./PN	FWHM (keV)					
	Schottky detectors			PN-junction detectors		
@E (keV)	5156.6	5499.0	5804.8	5156.6	5499.0	5804.8
25/20	74.9	87.3	83.0	72.8	84.8	134.1
50/60	27.5	21.6	19.9	83.7	91.0	82.2
80/-	28.6	22.0	21.9	-	-	-
100/100	26.4	21.5	21.0	61.0	71.3	65.4

- V prípade SiC detektorov bol ďalej vyhodnotený vplyv veľkosti detektora, reprezentovaný priemerom elektródy, na jeho detekčné vlastnosti. Porovnali sme Schottkyho typ detektora s PN typom, ktorých namerané alfa spektrá trojžiariča ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{244}Cm s energiami v rozsahu 5-6 MeV sú zobrazené na Obr. 5. pri rovnakom závernom napätí 100V a v prípade rovnakej hrúbky epitaxnej vrstvy detektora 100 μm .

D.5 Vyhodnotenie detekčných charakteristík



Obr. 5: Typické alfa spektrá trojžiariča alfa 238-Pu, 239-Pu, 244-Cm namerané SiC detektorom hrúbky 100 µm so Schottkyho bariérou (vľavo) resp. SiC detektorom s PN štruktúrou hrúbky 100 µm (vpravo) pre rôzne veľkosti detektora (rôzne rozmery elektródy).

Výsledky ukazujú, že na rozdiel od správania pozorovaného pri detektoroch z materiálu Si GaAs, veľkosť zbernej elektródy nepredstavuje významný faktor ovplyvňujúci spektrometrické vlastnosti detektorov vyrobeného z 4H-SiC. Namerané alfa spektrá a CCE zostávajú v nezmenené pri rôznych geometriách kontaktov, akonáhle sa dosiahne dostatočné vyprázdnenie objemu detektora. Výsledky naznačujú, že vlastnosti detektora sú určované predovšetkým kvalitou materiálu, vlastnosťami epitaxnej vrstvy a prevádzkovými podmienkami, a nie rozmermi zberného kontaktu.