

## Uporaba in karakterizacija RadFET-ov kot dozimetrov

. . .

Klemen Ambrožič

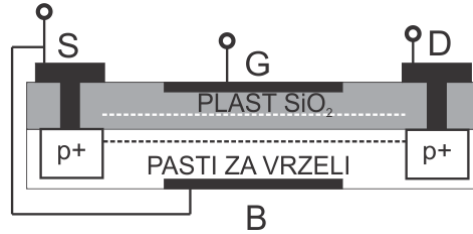
### Uvod

V zadnjem letu raziskav sem se med drugim ukvarjal z razvojem elektronskih naprav, odpornih na sevanje. To vključuje modeliranje računskih modelov in njihove simulacije, obsevanja z žarki  $\gamma$ , meritve doze in hitrosti doze, uporaba različnih sistemov za merjenje doze, itd. Ker so želene hitrosti doze in kumulativne doze pri obsevanju elektronskih komponent razmeroma velike, tudi več kot 100 Gy/h oz. kumulativne doze višje od kGy, imamo težavo že z samo meritvijo tako visokih doz. Na sevanje občutljivi FET tranzistorji (*angl.* radiation-sensing FET: RadFET), ki obstajajo v različnih izvedbah, imajo velik razpon občutljivosti na sevanje in so zato nadvse primerni tudi v poljih z visoko hitrostjo doze.

### Principi delovanja

RadFET-i so tranzistorji MOS (*angl.* metal-oxide-semiconductor) tipa p. Delci ionizirajočega sevanja povzročijo nabiranje naboja v neprevodni, na sevanje občutljivi plasti tranzistorja  $\text{SiO}_2$ . Zaradi ionizirajočega sevanja nastajajo pari elektron-vrzel v plasti oksida, kjer se jih večina tudi rekombinira v času nekaj pikosekund, ostali pa zaradi vpliva električnega polja razmaknejo. Zaradi visoke mobilnosti elektronov ( $\mu_e \approx 20 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ) v primerjavi z mobilnostjo vrzeli ( $\mu_h \approx 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ) se ostanek elektronov hitro pomakne proti anodi (vrata oz. *angl.* gate), medtem ko se počasnejše vrzeli pokimajo proti silicijevemu substratu (Ravotti, 2006).

Vrzel se ujamejo v pasteh v bližini stika  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ , kar povzroči nabiranje naboja in posledično pozitivno napetnostno razliko, kot posledico ionizirajočega sevanja. RadFET-i lahko delujejo v dveh režimih, s pritisnjeno napetostjo in brez nje. Če na RadFET pritisnemo pozitivno napetost preko elektrode vrat (gate), povečamo električno silo tako na elektrone kot tudi na vrzeli in



Slika 5.1: Shema RadFET-a

njuni hitrosti odstranjevanja iz stika plasti Si in SiO<sub>2</sub>. Zaradi tega imajo pari elektron-vrzel manj časa za rekombinacijo, tako da ostane na voljo večje število vrzeli, ki se ujamejo v pasteh. S tem smo povečali občutljivost na ionizirajoče sevanje.

V primeru, ko nimamo pritisnjene napetosti, je električna sila na elektrone in vrzeli manjša, zato se rekombinira večje število parov, in manjše število vrzeli se lahko ujame v pasteh. S tem zmanjšamo občutljivost dozimetra.

Zunanje električno polje zaradi pozitivne napetosti se zmanjšuje zaradi električnega polja, ki ga inducirajo vrzeli v pasteh, vse dokler ne dosežemo saturacije.

Nastanek naboja na plasti oksida lahko opišemo v smislu ploščatega kondenzatorja:

$$\Delta V_T = \frac{t_{ox}}{\epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot Q_{srf} \quad (5.1)$$

kjer je  $\Delta V_T$  mejna napetostna razlika med vrati (*angl.* gate) in izvorom (*angl.* source), da tranzistor v tej smeri prevaja tok,  $t_{ox}$  je debelina plasti oksida,  $\epsilon$  in  $\epsilon_0$  relativna dielektričnost in dielektrična konstanta vakuuma, in  $Q_{srf}$  površinska porazdelitev naboja. V režimu delovanja brez pritisnjene napetosti se sprememba napetosti  $\Delta V_T$  spreminja kot potenčna funkcija:

$$\Delta V_T = a \cdot D^b \quad (5.2)$$

kjer sta  $a$  in  $b$  eksperimentalno določena parametra. Navadno en set parametrov  $a$  in  $b$  slabo opiše odziv  $\Delta V_T$  v odvisnosti od doze, zato pogosto razdelimo območje na dva ali več delov in vsakemu priredimo svoj set parametrov (Ravotti, 2006).

## Kalibracijska krivulja RadFET-ov

V zadnjem letu smo izvedli večje število obsevanj z žarki  $\gamma$ , kjer smo kot izvor sevanja uporabili aktivirane gorivne elemente reaktorja TRIGA IJS (Snoj in Smodiš, 2011). Pri tem smo opravljali tudi meritve doze žarkov  $\gamma$  z RadFET-i in pretočno ionizacijsko celico, kot referenčni detektor. Zaradi nelinearnega odziva RadFET-ov ter odvisnosti faktorjev kalibracijske krivulje  $a$  in  $b$  enačbe 5.2 od različnih dejavnikov, smo želeli opraviti večje število meritev da dobimo čim boljšo oceno za kalibracijske faktorje. Vse meritve z RadFET-i smo izvedli v režimu brez pritisnjene napetosti.

Izvedli smo več meritev z RadFET-i in pretočno ionizacijsko celico v njegovi neposredni bližini, tako da oba detektorja merita isto stvar. Pri vsaki meritvi smo merili z dvema RadFET detektorjema. Na sliki 5.2

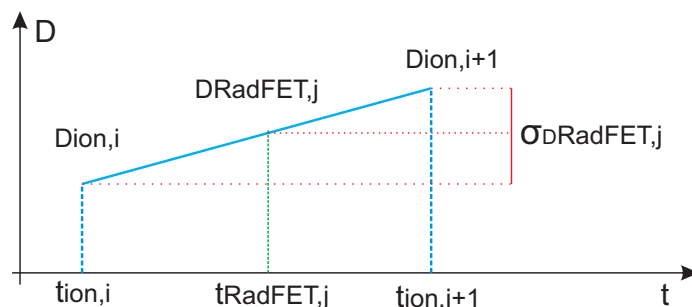


Slika 5.2: Pretočna ionizacijska celica (rdeče) in RadFET v polietilenski kapsuli.

lahko vidimo pretočno ionizacijsko celico (v rdečem) v neposredni bližini RadFET-a, ki je lociran v plastični kapsuli (bela), da nebi prišlo do kratkega stika tiskanega vezja RadFET senzorja z okolico. Na vsakem RadFET senzorju imamo dva RadFET-a z različnima debelinama oksidne plasti oz. različnima občutljivostima.  $\Delta V_T$  v odvisnosti od kumulativne doze lahko dobimo iz meritve hitrosti doze s pretočno ionizacijsko celico, oz. s časovno integracijo hitrosti doze v dozo ter z meritvami  $\Delta V_T$  RadFET-a. Bralni elektroniki in napajalnika za RadFET in pretočno ionizacijsko celico sta med seboj fizično ločena in neodvisna. Pri vsaki meritvi smo zapisali tudi čas meritve, kar smo kasneje uporabili pri kalibraciji  $\Delta V_T/D$  karakteristike RadFET-a.

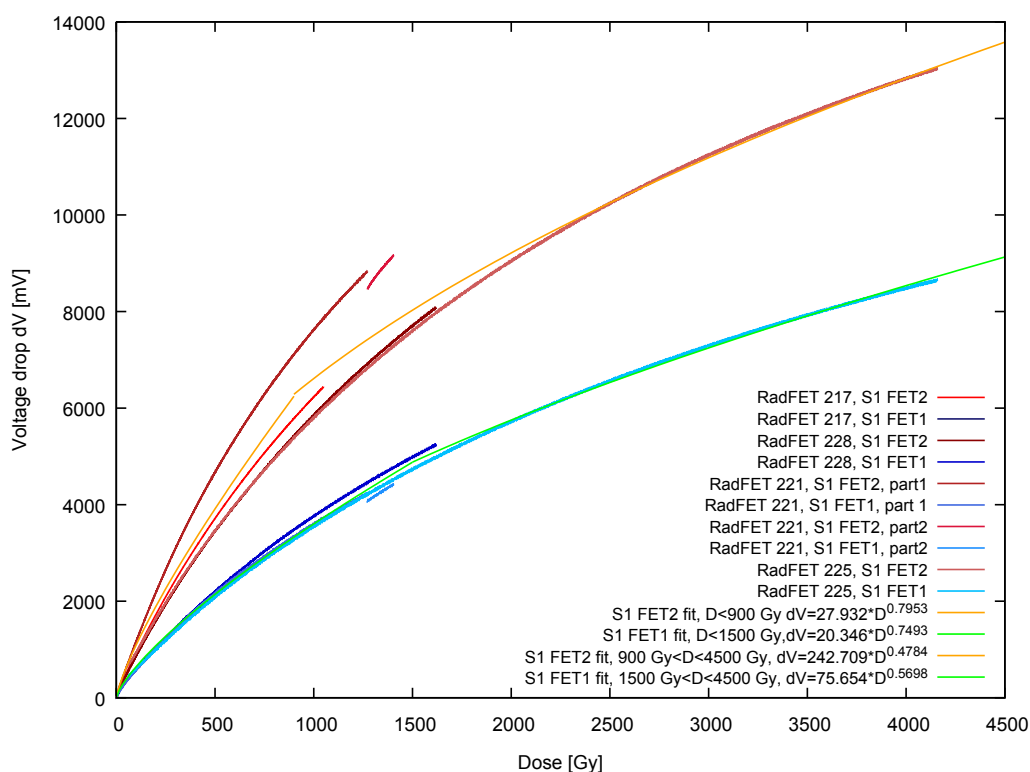
Pred začetkom meritve smo odčitali začetni  $V_T$  RadFET-a, ki smo ga odšteli od izmerkov za izračun  $\Delta V_T$  pri nadaljnjih meritvah. Pred obsevanjem smo preverili oba bralnika signala in sinhronizirali uro obeh bralnikov elektronike.

Izmerke smo po meritvi obdelali. Ker je frekvenca vzorčenja za ionizacijsko celico precej večja od frekvenca vzorčenja RadFET-a, smo vrednosti kumu-



Slika 5.3: Postopek določanja kumulativne doze RadFET-a.

lativne doze RadFET-a dobili z linearno interpolacijo med izmerki pretočne ionizacijske celice, kot lahko vidimo na sliki 5.3. Po obdelavi meritev dobimo več odvisnosti  $\Delta V_T/D$ , katerih podatke uporabimo za izračun faktorjev  $a$  in  $b$  enačbe 5.2 na dve območji. Rezultate obdelave podatkov in dobljene kalibracijske krivulje si lahko pogledamo na sliki 5.4.



Slika 5.4: Meritve in dobljene kalibracijske krivulje za oba RadFET-a.

## Zaključek

RadFET detektorji so se izkazali kot detektorji z dobro ponovljivostjo in visokim merskim razponom. V prihodnje moramo biti pozorni, da meritve opravimo z RadFET-i ki imajo ker se da podobne začetne lastnosti. Dobljene kalibracijske krivulje so znotraj merskih negotovosti zaradi različnih začetnih lastnosti RadFET-a.

Razpon meritev od manj kot Gy do več kGy ter različne občutljivosti v odvisnosti od debeline oksida, kot tudi v odvisnosti od pritisnjene napetosti nam omogoča da detektor ene vrste uporabimo za meritve pri različnih občutljivostih oz. različnih razponih vrednosti kumulativne doze.

Ravotti ([Ravotti, 2006](#)) poleg naštetih lastnosti opisuje tudi temperaturno odvisen časovni potek uhajanja vrzeli iz pasti oz. posledično zmanjševanje napetosti na RadFET-u. Za hitre meritve (do nekaj dni) je ta prispevek zanemarljiv, za daljše meritve pri povišanih temperaturah (na primer v zadrževalnem hramu jedrske elektrarne) pa je potrebno ta prispevek upoštevati. Nekatero meritve so bile že narejene ([Ravotti, 2006](#)), vendar bi bilo potrebno te vrednosti ponovno preveriti pred uporabo za daljše meritve.

## Literatura

- Ravotti, Federico (2006). »[Characterization and development of radiation monitoring sensors for the high energy physics experiments of the CERN LHC accelerator](#)«. 2006MON20149. Doktorska disertacija, 1 vol. (221 p.)  
Snoj, Luka in Borut Smodiš (2011). »45 Years of TRIGA Mark II in Slovenia«. V: Proc. Int. Conf. Nuclear Energy for New Europe 2011.