

## RAZVOJ VAKUUMSKE TRANSFERNE TEHNIKE ZA SERIJSKO PROCESIRANJE KANALNIH FOTOPOMNOŽEVALK

### DEVELOPMENT OF VACUUM TRANSFER TECHNIQUE FOR BATCH PROCESSING OF CHANNEL PHOTOMULTIPLIERS

**Bojan Erjavec**

Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija

*Prejem rokopisa - received: 2000-12-20; sprejem za objavo - accepted for publication: 2000-12-29*

V članku predstavljamo procesiranje nove generacije miniaturnih fotopomnoževalk, ki se odlikujejo z veliko občutljivostjo, hitrim časovnim odzivom, ekstremno nizkim ozadjem in razširjenim dinamičnim obsegom. Elektronsko pomnoževanje poteka v stekleni kanalni elektronski pomnoževalki, za katero sta značilna zelo velik elektronski pomnoževalni faktor in ekstremno nizko ozadje. Le-ta je kontinuirna elektronska pomnoževalka, ki predstavlja istočasno glavni del ohišja nove mini elektrone. Njen izhodni del je hermetično spojen z anodnim podsklopom, vhodni konusni del pa preko steklenega izolacijskega obročka in mehke kovinske spajke s stekleno ploščico, na katero je nanesena foto občutljiva plast. Zaradi majhne prostornine novih kanalnih fotopomnoževalk se večina pomembnejših faz, kot so priprava podsklopov, procesiranje fotokatodne plasti, prenos podsklopov in njihovo medsebojno spajanje, izvaja v ultra visokem vakuumu z uporabo transferne tehnike, razvite na osnovi vakuumske transferne tehnike iz tehnologije izdelave slikovnih ojačevalnikov. Za te nove fotodetektorje so značilni visok kvantni izkoristek in majhen termični emisijski tok procesiranih fotokatodnih plasti, majhen anodni temni tok, dobra ločljivost porazdelitve višine pulzov ter ustrezno visoko razmerje vrha proti dolini. Kanalne fotopomnoževalke so zelo uporabne za detekcijo šibkih svetlobnih signalov, zlasti ko delujejo v fotonsko-števnem načinu.

**Ključne besede:** vakuumska transferna tehnika, kanalna fotopomnoževalka, fotokatodna občutljivost, tokovno ojačenje, ozadje, anodni temni tok, porazdelitev višine pulzov

In the paper, the processing of a new generation of miniature photomultipliers exhibiting high sensitivity, fast time response, extremely low background and extended dynamic range is presented. Electron multiplication is enabled by a high-gain and extremely low-background glass channel electron multiplier serving also as a main part of enclosure of the new miniature electron tube. This continuous electron multiplier is hermetically closed at its exit and input with anode and cathode subassembly, respectively. Due to small volume of the new channel photomultipliers, all important phases like tube subassemblies preparation, photocathode processing, transferring and sealing the photocathode faceplates with the tube bodies take place in ultra high vacuum (UHV) using a transfer technique, based on and developed from the vacuum transfer technique of the image intensifiers production. These new photodetectors exhibit high quantum efficiency and low thermionic emission current of processed photocathodes, low anode dark current, good single photo electron response, i.e. narrow pulse height distribution and high peak to valley ratio, and are, therefore, very useful in single photon counting applications for detection of very weak light signals.

**Key words:** vacuum transfer technique, channel photomultiplier, photocathode sensitivity, electron gain, background, anode dark current, pulse height distribution

#### 1 UVOD

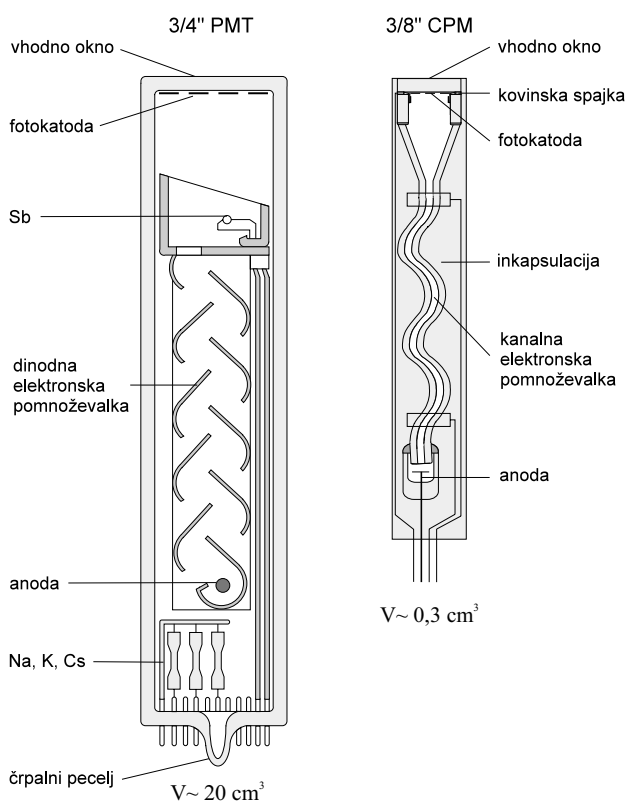
Fotopomnoževalke so najbolj občutljive fotelektronke za detekcijo majhnih svetlobnih tokov. Za uporabo v fluorescenčni analitiki in v analitskih napravah za preiskave medicinskih, bioloških ter kemijskih vzorcev, kakor tudi na različnih področjih bazičnih raziskav, so danes potrebne zelo občutljive fotopomnoževalke, ki se istočasno odlikujejo z zelo nizkim ozadjem. V mnogih primerih uporabe je namreč odločilna detekcija posameznih fotonov. Sedem desetletij po odkritju fotopomnoževalk, je prišla na trg nova generacija miniaturnih fotodetektorjev: kanalne fotopomnoževalke<sup>1-3</sup>, katerih osnovna gradnika sta fotokatoda z velikim kvantnim izkoristkom in nizkim temnim tokom ter kanalna elektronska pomnoževalka z velikim elektronskim pomnoževalnim faktorjem in ekstremno nizkim ozadjem.

Na **sliki 1** sta v podolžnem prerezu predstavljeni konvencionalna fotopomnoževalka (PMT) s premerom vhodnega okna 19 mm (3/4") in kanalna fotopomnoževalka (CPM) s premerom vhodnega okna 9,5 mm (3/8"). V obeh primerih je polprepustna fotokatodna plast namenjena za konverzijo fotonov v elektrone (zunanji fotoefekt) in anoda za zbiranje ojačenega elektronskega toka. Za elektronsko pomnoževanje (sekundarna emisija) se v prvem primeru uporablja diskretna dinodna elektronska pomnoževalka, v drugem pa kontinuirna kanalna elektronska pomnoževalka.

Procesiranje polprepustnih fotokatodnih plasti pri konvencionalnih fotopomnoževalkah poteka *in situ*, in sicer z naparevanjem izbrane kovine (Sb) na vhodno okno, ki je del steklenega ohišja fotopomnoževalke, in razvijanjem par izbranih alkalijskih kovin (Na, K, Cs). Sinteza temelji pretežno na substitucijskih kemijskih reakcijah. Stekleno podnožje elektrone s kovinskimi prevodi je nosilec vhodnega elektrodnega sistema, di-

nodne elektronske pomnoževalke, anode, getra in izvirov za napajanje, ki so potrebni za sintezo fotokatode. Podnožje vsebuje tudi steklen črpalni pecelj, skozi katerega poteka črpanje elektronke. Z uporabo steklenih vilic se lahko hkrati črpa več elektronk. Po končanem procesiranju posamezne fotokatode se ustrezna elektronka s pretalivitvijo črpalnega pečlja loči od črpalnega sistema.

Kanalna fotopomnoževalka zaradi majhne prostornine, ki je približno  $0,3 \text{ cm}^3$ , in relativno velike notranje površine, ki je približno  $4 \text{ cm}^2$ , nakazuje na uporabo vakuumske transferne tehnike, ki je poznana iz tehnologije izdelave slikovnih ojačevalnikov z bližinsko preslikavo. Vakuumska transferna tehnika temelji na predhodni pripravi podsklopov in njihovi obdelavi ter spajanju v ultra visokem vakuumu (UVV). Navadno se izvaja v kovinski UVV-napravi z dvema vakuuskima komorama, in sicer s komoro za aktivacijo fotokatod ter komoro za spajanje elektronk, ki sta med seboj ločeni s ploščnim UVV-ventilom. Na komoro za aktivacijo fotokatod je priključen manipulator za linearen pomik, ki seže iz slednje v komoro za spajanje elektronk. Najpomembnejša faza vakuumske transferne tehnike je procesiranje modernih polprepustnih fotokatodnih plasti iz družine alkalijskih antimonidov. V komori za aktivacijo fotokatod je kovinski reaktor, v katerem se v dinamičnem načinu izvaja sinteza fotokatode s spre-



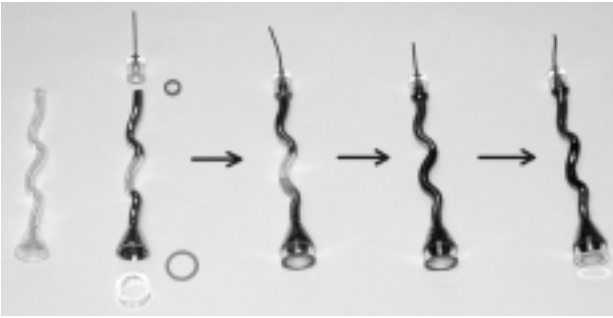
**Slika 1:** Podolžni prerez konvencionalne fotopomnoževalke (PMT) in kanalne fotopomnoževalke (CPM)

**Figure 1:** Cross-section of conventional photomultiplier (PMT) and channel photomultiplier (CPM)

menjeno tehnologijo napajanja (v primerjavi z *in situ* sintezo fotokatode pri konvencionalnih fotopomnoževalkah), ki temelji na adicijskih kemijskih reakcijah. Posamezne reakcije izvajamo s ponavljajočo se adsorpcijo atomov izbrane alkalijske kovine na eno ali več ploščic iz kremenovega stekla, ki ji sledi takojšnje napajanje Sb. Zaradi preprečevanja izmenjave atomov alkalijskih kovin na notranji površini reaktorske posode za procesiranje fotokatode se sinteza prične z adsorpcijo atomov alkalijske kovine, ki imajo manjši premer. V komori za spajanje elektronk se izvaja termična obdelava in obdelava s širokim elektronskim curkom enega ali več ohišij elektronk, ki jih v našem primeru predstavljajo ohišja kompaktnih kanalnih fotopomnoževalk. Ploščice iz kremenovega stekla so po robu metalizirane. Ohišja fotopomnoževalk morajo biti na mestu spajanja s fotokatodno ploščico metalizirana in omočena z določeno količino indijeve spajke s tališčem pri  $157 \text{ }^\circ\text{C}$ , z evtektično zlitino In-Sn s tališčem pri  $117 \text{ }^\circ\text{C}$  ali z evtektično zlitino In-Bi s tališčem pri  $72 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ohišja fotopomnoževalk morajo vsebovati tudi kovinski trak z nanesenim zelo poroznim getrskim materialom, ki se aktivira med termičnim razplinjevanjem komore za spajanje fotopomnoževalk pri temperaturi med  $350$  in  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . S tem se v fotodetektorju z vgrajeno fotokatodo zagotovijo UVV-pogoji.

Moderne alkalijske antimonidne fotokatodne plasti, katerih procesiranje v okviru vakuumske transferne tehnike je treba raziskati, so naslednje:

- visoko občutljiva bialkalijska antimonidna fotokatoda  $\text{K}_2\text{CsSb}$  s foto občutljivostjo od UV do vidnega dela svetlobnega spektra in z maksimalnim kvantnim izkoristkom v modrem delu vidnega spektra; je rahlo *p*-dopiran polprevodnik z veliko električno upornostjo in majhnim termičnim emisijskim tokom pri sobni temperaturi; spektralna občutljivost se ujema z emisijskim spektrom scintilatorja  $\text{NaI(Tl)}$ , zato se večinoma vgrajuje v fotopomnoževalke, ki so sestavni del scintilacijskih števecov za detekcijo nuklearnega sevanja
- temperaturno odporna bialkalijska antimonidna fotokatoda  $\text{Na}_2\text{KSb}$  s foto občutljivostjo od UV do vidnega dela svetlobnega spektra in z maksimalnim kvantnim izkoristkom pri izbrani valovni dolžini v modrem oziroma zelenem delu vidnega spektra; je zelo stabilna tudi pri visokih temperaturah (do  $175 \text{ }^\circ\text{C}$ ), zato se vgrajuje v fotopomnoževalke s temperaturno odpornimi ohišji, ki se uporabljajo za detekcijo nuklearnega sevanja v naftnih izvrtinah; je *p*-dopiran polprevodnik z ekstremno majhnim termičnim emisijskim tokom pri sobni temperaturi, zato se vgrajuje v fotopomnoževalke, ki se uporabljajo za detekcijo nizkih svetlobnih nivojev posebno pri aplikacijah s posamično-fotonskim štetjem
- multialkalijska antimonidna fotokatoda  $\text{Na}_2\text{KSb(Cs)}$  s foto občutljivostjo v širokem spektralnem območju (od UV preko vidnega do bližnjega IR-dela svet-



**Slika 2:** Priprava ohišja fotopomnoževalke  
**Figure 2:** Preparation of tube body

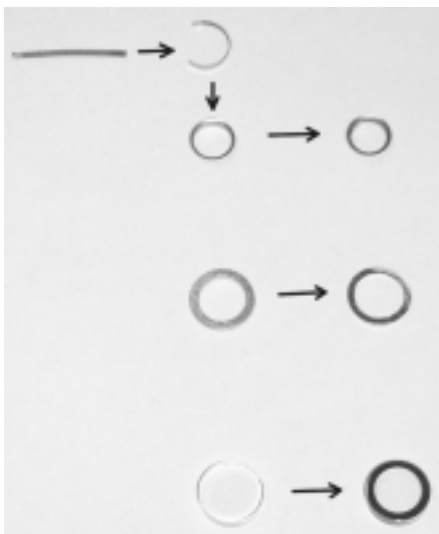
lobnega spektra) in z maksimalnim kvantnim izkoristkom pri izbrani valovni dolžini v modrem oziroma zelenem delu svetlobnega spektra; je močno *p*-dopiran polprevodnik s Fermijevim nivojem blizu vrha valenčnega pasu; zaradi majhne elektronske afinitete je povečana foto občutljivost v bližnjem IR-območju; pri stabilni fotokatodi je povečan tudi termični emisijski tok; vgrajuje se v fotopomnoževalke, ki se v večjem številu uporabljajo v široko pasovnih spektrofotometrih.

Za vse naštetje moderne fotokatodne plasti so tako značilni visok kvantni izkoristek v določenem delu svetlobnega spektra, dobra stabilnost po vgradnji v izbrani fotodetektor, bodisi med mirovanjem ali med delovanjem, ter majhen termični emisijski tok.

## 2 EKSPERIMENTALNO DELO

### 2.1 Priprava podsklopov kanalne fotopomnoževalke

Na **sliki 2** je prikazana priprava ohišja fotopomnoževalke, ki ga sestavljajo anodni podsklop, kanalna elektronska pomnoževalka z vakuumsko napršenimi kovinskimi kontaktnimi plastmi in steklen izolacijski



**Slika 3:** Priprava katodnega podsklopa  
**Figure 3:** Preparation of photocathode subassembly

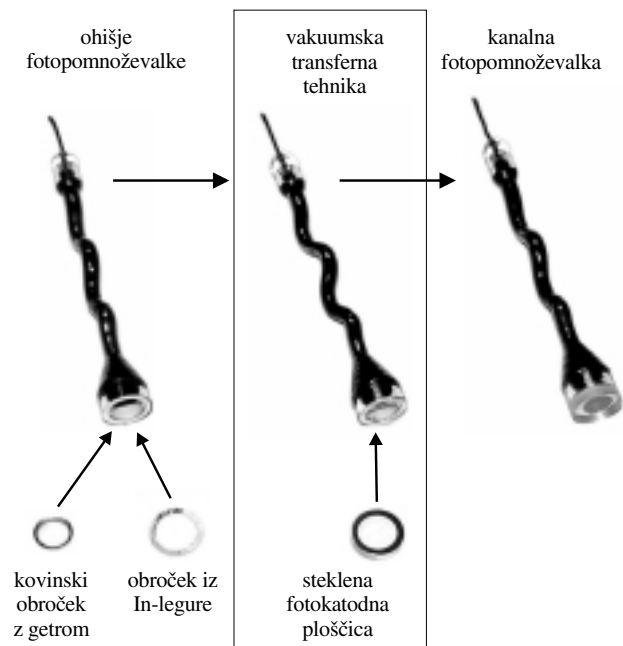
obroček. Najprej se na zraku spoji naštetje komponente z uporabo steklenih fritov pri visoki temperaturi ( $> 500$  °C), ki ji sledita redukcija površine kanala v vodikovi atmosferi pri temperaturi  $\sim 350$  °C in vakuumsko naprejevanje metalizacijske plasti na čelno stran steklenega izolacijskega obročka.

Na **sliki 3** je prikazana priprava katodnega podsklopa, ki ga sestavljajo kovinski obroček s točkasto zavarjenim getrom, predhodno deponiranim na kovinski trak, sveže postružen obroček iz indijske zlitine in metalizirana fotokatodna ploščica. Spajanje fotokatodnega podsklopa se izvrši med spajanjem kanalne fotopomnoževalke, ki je ena izmed poslednjih faz vakuumске transferne tehnike.

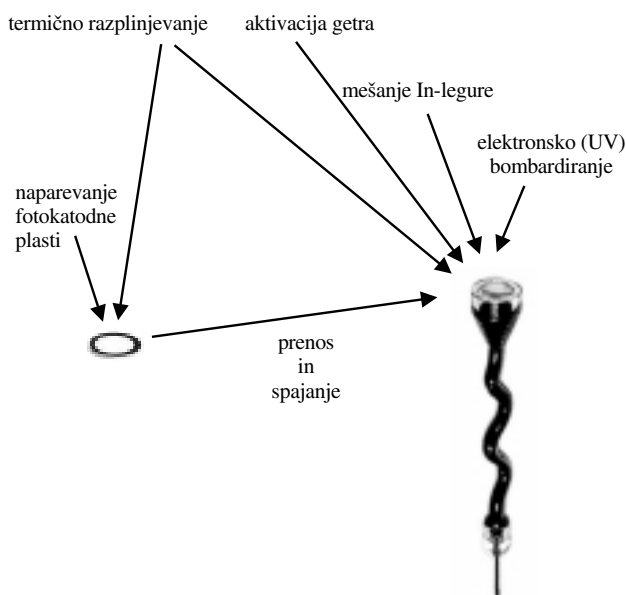
### 2.2 Opis vakuumске transferne tehnike

Osnovni principi vakuumске transferne tehnike so prikazani na **sliki 4**. Po pripravi ohišja fotopomnoževalke se le-ta na atmosferi dopolni s kovinskim obročkom z getrom in obročkom iz indijske zlitine. Steklena ploščico z deponirano fotokatodno plastjo in vakuumsko kondicionirano ohišje fotopomnoževalke mehko spojimo v vakuumu s prenosom ploščice na ohišje. Končni rezultat je hermetično tesna kanalna fotopomnoževalka.

Bistvene faze vakuumске transferne tehnike so prikazane na **sliki 5**. Istočasno potekajo termično razplinjevanje katodnega podsklopa in ohišja fotopomnoževalke ter aktivacija getra pri visoki temperaturi. Sledi razplinjevanje indijske zlitine z mehanskim mešanjem pri povišani temperaturi. Razplinjevanje ohišja fotopomnoževalke z elektronskim bombardiranjem poteka



**Slika 4:** Osnovni principi vakuumске transferne tehnike  
**Figure 4:** Basic principles of vacuum transfer technique



**Slika 5:** Glavne faze vakuumske transferne tehnike  
**Figure 5:** Mayor steps of vacuum transfer technique

pri sobni temperaturi. Naprevanje fotokatodne plasti se izvaja pri povišani temperaturi, ki mu sledita prenos fotokatodne ploščice na ohišje fotopomnoževalke in njihovo medsebojno spajanje.

### 2.3 UVV-komora za transferno tehniko

Za procesiranje specialnih elektronk z vgrajeno multialkalijsko antimonidno fotokatodo  $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$  se zaradi preprečevanja njene disociacije uporablja kompaktnější kovinski UVV-sistem z eno komoro, v kateri se lahko pri povišani temperaturi hitreje izvede prenos podsklopov in njihovo medsebojno spajanje<sup>4</sup>. Na **sliki 6** sta prikazana tloris in podolžni prerez kovinske UVV-komore za serijsko procesiranje kanalnih fotopomnoževalk s transferno tehniko. Komora ima zunanji premer 600 mm in je preko povezovalnega kosa ter ustreznega ploščnega ventila priključena na ionsko-razprševalno črpalko s črpalno hitrostjo 500 l/s. V osrednjem delu UVV-komore je reaktor za procesiranje fotokatodnih plasti in okno za osvetljevanje fotokatod z belo svetlobo ter svetlobo izbranih valovnih dolžin. Reaktor je obkrožen s štirimi pozicijami, ki jih sestavljajo nosilec ohišij fotopomnoževalk, elektronska puška za elektronsko bombardiranje ohišij fotopomnoževalk, opazovalno okno in manipulator za prenos ter spajanje fotokatodnih ploščic z ohišji fotopomnoževalk.

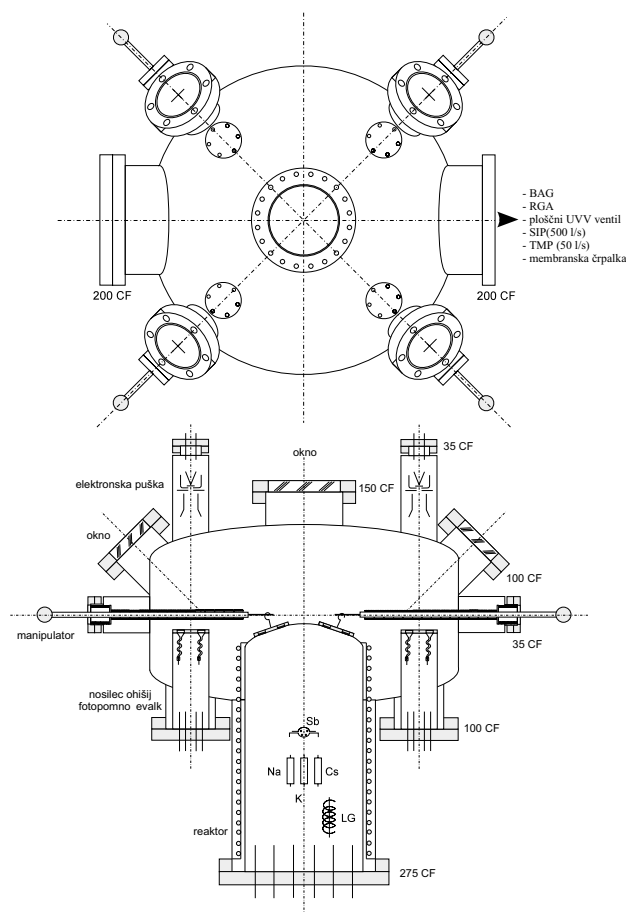
Kot smo že omenili, je v sredini UVV-komore reaktorska posoda iz nerjavnega jekla, v kateri se v dinamičnem načinu izvaja sinteza multialkalijske antimonidne fotokatode  $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$  s spremenjeno tehnologijo naprevanja, ki jo sestavljata ponavljajoča se adsorpcija atomov posamezne alkalijske kovine in naprevanje Sb na enega ali več podlag iz kremenovega stekla. Le-te se nahajajo na vrhu reaktorske posode. S

preučevanjem teorije o površinski fazi, smo prišli do sklepa, da na porabo alkalijskih kovin (pare alkalijskih kovin se razvijajo z redukcijo alkalijskih kromatov) in dinamiko par alkalijskih kovin v reaktorski posodi vpliva mnogo parametrov, kot so: volumen reaktorske posode, prevodnost reže, skozi katero se črpajo pare alkalijskih kovin iz reaktorske posode v komoro za aktivacijo fotokatod, realna notranja površina reaktorske posode, koeficient lepljenja in desorpcijska energija atomov alkalijskih kovin na notranji površini reaktorske posode. Našteti parametri so odvisni od kritičnih dimenzij reaktorske posode, mehanske in kemijske predpriprave njene notranje površine, termičnega razplinjevanja posode in temperature, pri kateri se izvaja sinteza fotokatode.

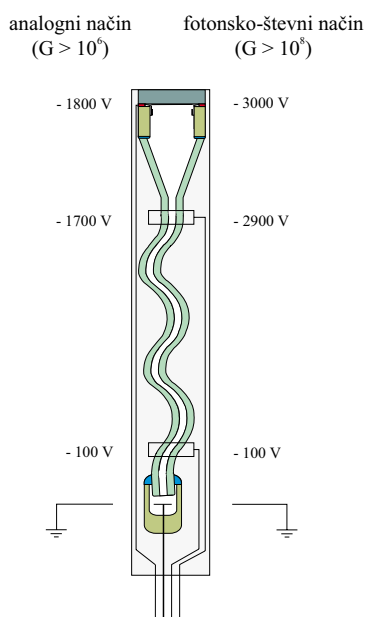
## 3 REZULTATI

### 3.1 Načina delovanja kanalne fotopomnoževalke

Kanalna fotopomnoževalka lahko deluje po dveh načinih: v analognem (tokovnem) oziroma nenasičenem načinu in fotonsko-števem oziroma nasičenem načinu. Prvi način delovanja je primeren za detekcijo nekoliko



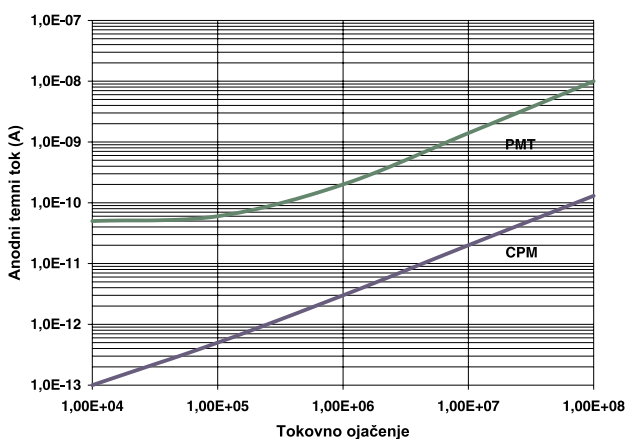
**Slika 6:** UVV-komora za transferno tehniko (tloris in podolžni prerez)  
**Figure 6:** UHV chamber for transfer technique (ground-plan and cross-section)



**Slika 7:** Analogni (tokovni) način in fotonsko-števni način delovanja kanalne fotopomnoževalke

**Figure 7:** Analogue (current) mode and photon counting mode of channel photomultiplier operation

višjih svetlobnih nivojev, drug pa je predvsem pomemben za detekcijo zelo šibkih svetlobnih signalov. Na **sliki 7** sta prikazana elektronski pomnoževalni faktor in razporeditev napetostnih potencialov pri CPM (fotokatoda, vhod kanala, izhod kanala in anoda) v obeh primerih njenega delovanja. Za primer delovanja CPM v analognem načinu moramo za kanalno elektronsko pomnoževalko izbrati nižjo delovno napetost (~1600 V) in s tem nižji elektronski pomnoževalni faktor (~10<sup>6</sup>). Pri izbrani delovni napetosti izhodni pulzi niso nasičeni. Zaradi statistične narave procesa elektronskega



**Slika 8:** Anodni temni tok v odvisnosti od tokovnega ojačenja pri konvencionalni fotopomnoževalki (PMT) in kanalni fotopomnoževalki (CPM). Znatno manjši anodni temni tok pri CPM zagotavlja v mnogih primerih uporabe nižjo spodnjo mejo detekcije

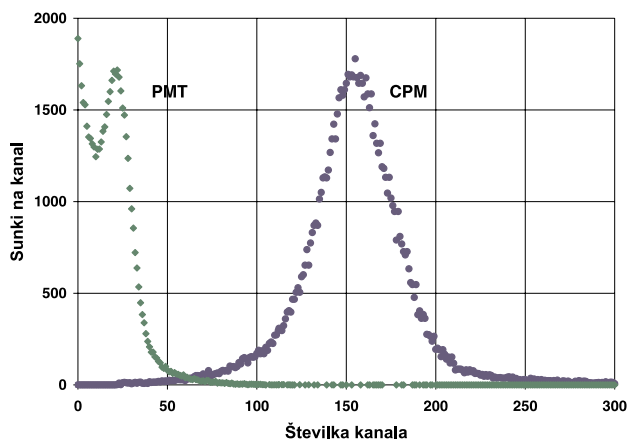
**Figure 8:** Anode dark current versus electron gain of conventional photomultiplier (PMT) and channel photomultiplier (CPM). The lower background of CPM provides in many applications better detection limits

pomnoževanja s sekundarno emisijo izhodni pulzi niso enaki po višini. Porazdelitev višine pulzov je namreč negativno eksponencialne oblike. Za primer delovanja CPM v fotonsko-števni načinu moramo za kanalno elektronsko pomnoževalko izbrati dosti višjo delovno napetost (~2800 V), pri kateri je elektronski pomnoževalni faktor  $\geq 10^8$ . Zaradi porasta prostorskega naboja na izhodni strani kanala je nadaljnje elektronsko pomnoževanje omejeno. Izhodni pulzi so nasičeni, kar pomeni, da po višini postanejo skoraj enaki. Porazdelitev višine pulzov je Gaussove oblike.

### 3.2 Ozadje CPM

Na **sliki 8** je prikazan anodni temni tok v odvisnosti od tokovnega ojačenja pri konvencionalni fotopomnoževalki (PMT) in kanalni fotopomnoževalki (CPM). Razlika je očitna: pri večjem tokovnem ojačenju je anodni temni tok pri CPM za približno dva velikostna reda manjši. Pri manjšem tokovnem ojačenju je razlika še večja, kajti večji anodni temni tok pri PMT je posledica večjih izolacijskih tokov v anodnem krogu.

Prvi vzrok za zelo nizko ozadje pri CPM je v bistvu v tem, da v kanalu poteka proces elektronskega pomnoževanja navidezno tiho. Meritve ozadja pri kanalni elektronski pomnoževalki so dale vrednosti, ki ustrezajo ekvivalentnemu vhodnemu toku od 0,01 do 0,1 elektrona na sekundo. Pri konvencionalnih fotopomnoževalkah je ozadje, ki je posledica emisije v polju in izvira iz vhodnega elektrodne sistema ter dinodne elektronske pomnoževalke, navadno znatnejši delež celotnega ozadja. Poljsko-emisijski efekt je namreč zelo odvisen



**Slika 9:** Porazdelitev višine pulzov pri konvencionalni fotopomnoževalki (PMT) in kanalni fotopomnoževalki (CPM). Porazdelitev pri CPM ima zelo dobro ločljivost pri velikem elektronskem pomnoževalnem faktorju. Opazna je razlika razmerja vrha porazdelitve proti dolini, ki se nahaja na levi strani porazdelitve. Večje razmerje pri CPM omogoča boljše razlikovanje signala od ozadja, kar vodi do boljše stabilnosti

**Figure 9:** Pulse height distribution of conventional photomultiplier (PMT) and channel photomultiplier (CPM). The CPM distribution exhibits very high resolution at high electron gain. A big difference in peak to valley ratio is also noticeable. The higher ratio of CPM provides better discrimination between signal and background resulting in better stability in count rate

od množine par alkalijskih kovin, adsorbiranih na kovinskih elektrodah.

Drugi vzrok za zelo nizko ozadje so majhni izolacijski tokovi v anodnem krogu, kajti anoda je električno dobro izolirana predvsem zaradi preprečene kontaminacije steklenih izolatorjev anodnega podsklopa s parametri alkalijskih kovin. Signal se tudi odčita preko koaksialnega kabla ( $50 \Omega$ ) z majhnim šumom.

Iz navedenih dejstev lahko sklepamo, da pri CPM k ozadju praktično prispeva le fotokatodna plast zaradi termične emisije. Termični emisijski tok je pri obeh tipih UV-fotokatod ( $\text{CsI}$ ,  $\text{Cs}_2\text{Te}$ ) zanemarljiv in pri obeh tipih bialkalijskih antimonidnih fotokatod ( $\text{K}_2\text{CsSb}$ ,  $\text{Na}_2\text{KSb}$ ) zelo majhen. Pri multialkalijski antimonidni fotokatodi  $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$  se hkrati s povečano fotokatodno občutljivostjo v bližnjem IR- področju ustrezno poveča tudi njen termični emisijski tok. S kontrolirano sintezo multialkalijske antimonidne fotokatore, ki jo omogoča procesiranje kanalnih fotopomnoževalk na osnovi transferne tehnike, lahko dosežemo povečano in stabilno fotokatodno občutljivost v bližnjem IR področju kakor tudi definiran fotokatodni temni tok <sup>5</sup>.

### 3.3 Porazdelitev višine pulzov

Na **sliki 9** je prikazana porazdelitev višine pulzov pri konvencionalni fotopomnoževalki (PMT) in kanalni fotopomnoževalki (CPM). Obe porazdelitvi, ki sta posledica enofotonskih dogodkov, sta posneti z večkanalnim analizatorjem, ki vsakemu pulzu na osnovi njegove višine določi vrednost in prešteje ter prikaže število pulzov, zaznanih pri vsaki vrednosti.

Pri tokovnih ojačenjih, ki so večji od  $10^7$ , se pri CPM enofotoelektronski pulz zelo jasno loči od elektronskega šuma. Pri tokovnih ojačenjih, večjih od  $10^8$ , se zaradi porasta prostorskega naboja blizu izhodne strani kanala pojavi efekt nasičenja, ki je značilen za kanalne elektronske pomnoževalke. Pri delovanju CPM v nasičenju postanejo tako izhodni pulzi po višini skoraj enaki. Za prikazano porazdelitev CPM, ki je po videzu Gaussove oblike, je značilna odlična ločljivost in zelo visoko razmerje vrha porazdelitve proti dolini, ki se nahaja na levi strani porazdelitve. Vrednost razmerja je značilno  $10 : 1$ , v mnogih primerih tudi  $100 : 1$ . Vzrok za to je v velikem elektronskem pomnoževalnem faktorju in ekstremno nizkem ozadju kanalne elektronske pomnoževalke. Zelo visoko razmerje pri CPM znatno olajša nastavitev nivoja diskriminatorja, kar vodi k bistveno boljši stabilnosti, posebno pri aplikacijah, ki temeljijo na posamično-fotonskem šteju.

Porazdelitev višine pulzov pri PMT se nahaja pri znatno manjšem elektronskem pomnoževalnem faktorju. Na levi strani porazdelitve se nahaja nizko energijska rama, ki je posledica ozadja, značilnega za konvencionalne fotopomnoževalke, in izvira iz vhodnega elektrodnega sistema ter dinodne elektronske pomnoževalke. Dolina je manj izrazita. Razmerje med vrhom in

dolino je pri PMT značilno  $1.5 : 1$ . Pri delovanju PMT v fotonsko-števnem načinu je potrebna izredno natančna nastavitev nivoja diskriminatorja v dolino. Vsaka manjša sprememba nivoja diskriminatorja ali tokovnega ojačenja PMT vodi do nestabilnosti pri detekciji pulzov signala. Razločevanje med signalom in ozadjem je s tem zelo oteženo.

## 4 DISKUSIJA

Vakuumska transferna tehnika za serijsko procesiranje kanalnih fotopomnoževalk omogoča ločeno izvajanje pomembnih faz na podsklopih, kot sta vhodna okno in kanalna elektronska pomnoževalka.

Procesiranje modernih fotokatodnih plasti na vhodna okna v posebni reaktorski posodi rezultira v visok kvantni izkoristek in minimalen termični emisijski tok. Slednjega se lahko kontrolira z izbiro tipa fotokatodne plasti z manjšim termičnim izstopnim delom, zmanjšanjem fotokatodne površine in znižanjem njene temperature med delovanjem CPM.

Vakuumska obdelava kanalnih elektronskih pomnoževalk, kot sta termično razplinjevanje in razplinjevanje z elektronskim curkom pri sobni temperaturi, bistveno ne vplivata na njihov velik elektronski pomnoževalni faktor in ekstremno nizko ozadje. Ta ugotovitev se odraža v nizkem anodnem temnem toku CPM in v Gaussovi porazdelitvi višine pulzov z odlično ločljivostjo.

Vakuumska transferna tehnika onemogoča kontaminacijo notranjosti ohišij fotopomnoževalk s parametri alkalijskih kovin, posebno če se opisani fazi izvajata v ločenih komorah. V primeru izvajanja vakuumske transferne tehnike v eni komori je med procesiranjem fotokatodnih plasti predvidena uporaba dodatnih zaščitnih kovinskih kap, ki param alkalijskih kovin preprečujejo direkten vstop v notranjost ohišij fotopomnoževalk. Izkaže se, da so, zaradi ekstremno nizkega ozadja kanalnih elektronskih pomnoževalk in majhnih izolacijskih tokov v anodnem podsklopu, fotokatodne plasti edini izvor ozadja kanalnih fotopomnoževalk. Pazljivo merjenje fotokatodnega temnega toka, ko CPM deluje v analognem načinu, kakor tudi detekcija temnih pulzov, ko CPM deluje v fotonsko-števnem načinu, sta kontrolni fazi, ki sta zelo pomembni za raziskave stabilnosti fotokatodnih občutljivosti.

## 5 SKLEP

V osemdesetih letih so na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko (IEVT) potekale raziskave in razvoj slikovnih ojačevalnikov prve, druge ter poboljšane druge generacije. Prav pri raziskavah slednje smo na laboratorijskem nivoju razvili vakuumsko transferno tehniko, ki smo jo uporabili in končali s prototipi slikovnih ojačevalnikov z bližinsko preslikavo, z različnimi karakteristikami, ki so odgovarjale zahtevnim vojaškim

standardom. Na IEVT so se občasno izvajale tudi manjše raziskovalno-razvojne naloge s področja detekcije nizkih svetlobnih tokov za tuje naročnike, med drugimi tudi za Heimann Optoelectronics iz Wiesbadna. Sodelovanje z njihovim razvojnim oddelkom se je nadaljevalo vse do danes, s tem da je bilo v zadnjih letih zelo intenzivno. Zaradi našega poznavanja osnovnih principov in bistvenih faz vakuumske transferne tehnike smo bili povabljeni k sodelovanju pri razvoju novih kanalnih fotopomnoževalk. Približno v istem času je razvoj specialnega svinčevega stekla za kanalne elektronske fotopomnoževalke prevzel Schott Glasswerke iz Mainza. Razvoj vakuumske transferne tehnike in njena aplikacija v velikih kovinskih UVV sistemih sta v začetni fazi predstavljala zelo velik tehnološki problem, a hkrati velik izziv za vse sodelujoče, ki smo ga v nadaljevanju uspešno rešili in končali s prototipi kanalnih fotopomnoževalk. Le-te se odlikujejo z dvema izjemnima karakteristikama, kot sta velika anodna občutljivost in ekstremno nizko ozadje, ki povzroča zelo nizek anodni

tok ter porazdelitev višine pulzov z odlično ločljivostjo in ustrezno visokim razmerjem vrha proti dolini.

Procesiranje alkalijskih antimonidnih plasti na moderen način je tudi del programa in eden končnih ciljev raziskav aplikativno-raziskovalnega projekta (L2-1436), ki ga financira Ministrstvo za znanost in tehnologijo.

## 6 LITERATURA

- <sup>1</sup> R. Barden, B. Erjavec, Kanalna fotopomnoževalka CPM - nova generacija visoko zmogljivih fotodetektorjev, *Vakuumist*, 19 (1999) 4, 4
- <sup>2</sup> R. Barden, Der CPM Channel-Photomultiplier - Ein neuartiger ultrasensitiver und rauscharmer Photodetektor, *Photonik 1* (2000), 2
- <sup>3</sup> R. Barden, Ultra-lichtempfindlich und rauscharm, Der Channel-Photomultiplier - ein zukunftsweisender Photodetektor, *Elektronik 9* (2000), 90
- <sup>4</sup> E. A. Beaver, L. Acton, D. Doliber, E. Dozier, H. Wenzel, *Adv. E. E. P.*, 74 (1988), 347
- <sup>5</sup> B. Erjavec, *Thin Solid Films*, 303 (1997), 4