

# MINIATURNA KATODNA ELEKTRONKA

## Predstavitev postopkov izdelave

Mag. Vinko Nemanič, IEVT, Teslova 30, Ljubljana

### Miniature cathode ray tube

#### Povzetek

V članku sem predstavil važnejše postopke izdelave miniaturne katodne elektronke. Zahteve za čistočo sestavnih delov pred vgradnjo so izredno stroge, saj je elektronka po oddalitvi zaprt vakuumski sistem. Med črpanjem in procesiranjem katode moramo zagotoviti take vakuumske razmere, da lahko elektronka obratuje sprejemljivo dolgo časa, kar je za uporabnike eden bistvenih podatkov.

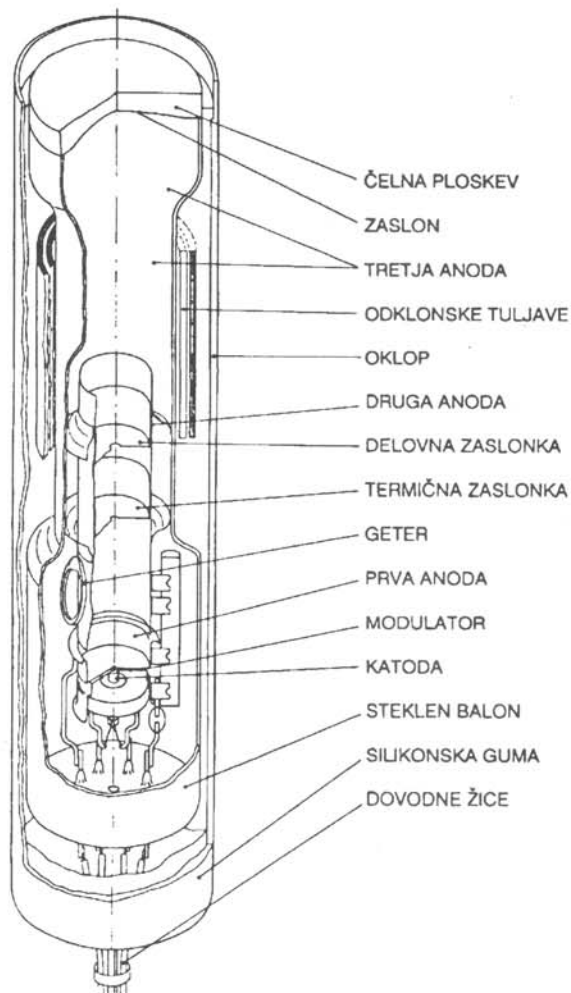
#### Abstract

In the following paper, main steps of manufacturing of miniature cathode ray tubes are given. Cleaning procedure of tube parts before pumping is an essential operation, because after tipping off the tube is a closed system. During evacuation and cathode processing, vacuum conditions must be obtained, which guarantee reasonable lifetime; one of the most critical tube performances.

Elektronke so s prodorom transistorja že v šestdesetih letih začele izgubljati pomembno mesto, ki so ga zasedale do takrat. Obdržale so se le tam, kjer prosti elektroni opravljajo funkcijo, ki jo v trdni snovi ne morejo. Med takšne elektronke sodijo: visokofrekvenčne in močnostne (npr. oddajniške) elektronke, klistroni, tiratroni, svetlobni ojačevalniki in seveda katodne elektronke (npr. TV zasloni), ker so zaradi izjemnih lastnosti še vedno nenadomestljive. Slednje se uporabljajo za prikaz črno-bele in barvne slike, najrazličnejših oblik in velikosti in za mnoge splošne in seveda specialne namene. Na IEVT smo za slednje razvili dva tipa miniaturne katodne elektronke, kjer premer zaslona (ekrana) ne presega 30 mm. Oba tipa se razlikujeta po načinu odklanjanja elektronov; prvi tip elektronke ima elektromagnetni odklon in smo jo označili z MKEM, drugi pa elektrostatičnega in smo jo označili z MKES.

Miniaturna katodna elektronka je po funkciji vakuumška slikovna elektronka z vgrajenim slikovnim zaslonom, združena z odklonskim sistemom in v zaščitnem elektromagnetnem oklopu, zalita v kompaktno enoto. Prerez in oznake osnovnih sestavnih delov so na sliki 1.

Osnovni princip delovanja pa je poznan že vsaj stoletje, zato ga obnovimo na osnovnošolski stopnji. V stekleni vakuumški posodi imamo vročo katodo, iz katere izhajajo elektroni, ki jih sistem elektronskih leč zbere, usmeri na zaslon, ta pa ob trkih z njimi zasveti. Na poti do zaslona periodično odklanjamo elektrone v prečnem magnetnem ali električnem polju, tako da dobimo osvetljeno celo ploskev zaslona. S spremembo jakosti elektronskega curka zapisujemo svetla in



Slika 1: Prerez miniaturne katodne elektronke MKEM. Premer oklopa je 27,45 mm, dolžina brez dovodnih žic je 125 mm.

temna mesta, ki jih zaznavamo kot sliko. Enostaven princip je omogočil razvoj, ki se kaže v vse boljši kvaliteti slike pri sprejemljivi ceni in mu še ni videti konca. Trije elektronski izviri, tri osnovne barve luminiscenčne snovi zaslona in senčna maska pred njim omogočajo nastanek barvne slike po istem principu.

Našo miniaturno katodno elektronko lahko opišemo enako, le da je vse zelo pomanjšano, razen zahtev, ki so zaostrene. To velja tako za svetlost, pravilnost in ostrino slike, kot za kvaliteto vakuumu v njej. Realizacija razvoja tako zahtevne komponente, kakršna sta oba tipa elektronke, je možna v daljšem času in ob obvladovanju interdisciplinarnih znanj; od fizike gibanja elektrona, poznavanja vedenja ma-

terialov v visokem vakuumu, do obvladovanja mikrofotometričnih in zahtevnih električnih meritev. Za vakuumista je verjetno zanimiva predstavitev vakuumskih zahtev in poti, po kateri jih zadovoljimo.

Katodne elektronke delujejo s sprejemljivo življenjsko dobo le, če imajo ves čas obratovanja tlak nižji od  $10^{-6}$  mbar. Razlog je v pogostosti trkov ionov, ki ne smejo bistveno vplivati na občutljive dele elektronke (emisivnost katode, bombardiranje zaslona). Zviševanje tlaka v elektronki poslabša električne izolacijske sposobnosti (preboji med elektrodami), kar se zgodi navadno pri tlaku  $10^{-3}$  do  $10^{-4}$  mbar. Pri tem pa je vakuum še vedno skoraj idealen toplotni izolator in dopušča še vedno večini elektronov, da kljub trkom prispejo od katode do zaslona, vendar vzdrži katoda tako intenzivno bombardiranje le zelo kratek čas. Pri nadaljnjem večanju tlaka nastane v elektronki plazma in s tem njeno trenutno uničenje.

Teško je napovedati, kakšen tlak v elektronki moramo ustvariti, da bo brezhibno delovala primeren čas. Spoznati je treba namreč procese, ki potekajo v prisotnosti razredčenih plinov v plinasti in trdni fazi in njihovo dinamiko. Prostornina elektronke (nekaj deset  $\text{cm}^3$ ) predstavlja pri tlaku  $10^{-7}$  mbar izredno majhen, zaprt sistem, saj ga lahko izrazimo kot neznamenit delec mase ( $\sim 10^{-12}$  g). Zaprt sistem navadno pomeni, da nima izmenjave delcev z okolico, kar je res pri dobri elektronki, saj puščanje in permeacija (prodiranje) plinov skozi stene skoraj ne prispevata k naraščanju tlaka. Merjeni končni tlak, ki se vzpostavi, predstavlja parne tlake materialov, ki se nahajajo v posodi, in ostanke plinov, t.i. preostalo ali residualno atmosfero. Resnično ravnovesje smo dosegli, ko se tlak pri dani temperaturi v daljšem času ne spreminja. Reakcije, ki določajo ravnotežje, so površinske in opisujejo tvorbo in razpad šibke kemijske ali fizikalne vezi med plinom in trdno snovjo, t.i. kemijsko in fizikalno adsorpcijo in desorpcijo.

V prisotnosti električnih polj, vroče katode in curka elektronov postane elektronka živahen kemični reaktor. Med elektroni in molekulami prihaja do trkov, vzbujanja notranjih stanj in ionizacije. Nastali ioni pa v električnem polju pridobijo veliko energijo, s katero sprožajo desorpcijo plinov na stenah in spremembo strukture vrhnje plasti materialov. Za ione, ki se znajdejo v elektronskooptičnem sistemu, veljajo isti zakoni kot za elektrone, za katere želimo, da prispejo s katode na zaslon. Negativni ioni tako bombardirajo zaslon, pozitivni pa katodo, ravno najbolj občutljivejša elementa celotnega sistema. Ravnovesni tlak se pri delovanju lahko spremeni, prav tako njegova sestava. Četudi obstaja o vakuumskih materialih in metodah procesiranja elektronk obširna literatura, se je treba do znanja, kako izdelati kvalitetno elektronko, dokopati z lastnim naporom.

Na kratko podajamo postopke priprave delov elektronke, ki smo jih sicer med razvojem spreminjali, vendar so realen prikaz potrebnih faz.

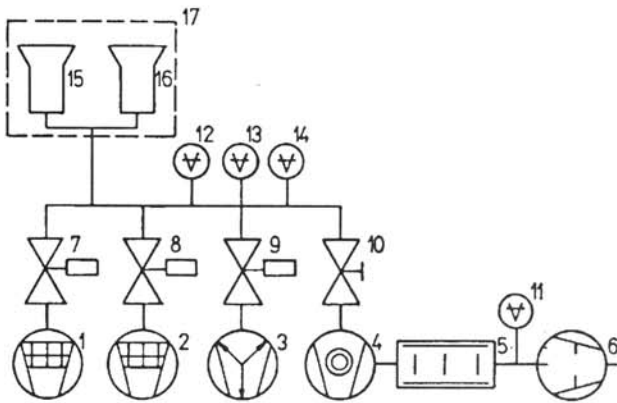
Vse kovinske sestavne dele elektronskega topa razen katode takoj po mehanski obdelavi, pred sestavljanjem, očistimo vseh maščob in drugih nečistoč. Uporabljamo kombinacijo čiščenja z detergenti in organskimi topili v ultrazvočnih kopelih, izpiranje v deionizirani vodi in sušenje v parah topil. Tako pripravljene dele v enostavnih orodjih točkasto zvarimo v podsklope, ki jih v vodikovi peči pri temperaturi 900-1000°C žarimo določen čas, da s površine odstranimo zadnje ostanke nečistoč in kovinskih oksidov. Tako pripravljene dele je treba v čim krajšem času vgraditi ali pa shraniti v suhi atmosferi.

Steklenih zunanjih delov elektronke ne moremo žariti pri takih temperaturah kot kovinske, zato moramo kemijske postopke čiščenja izbrati še bolj pazljivo. Zunanji del, t.i. balon, elektronke napravi steklopihač iz steklenih cevi, ki so pri MKEM različnega premera, slika 1, pri MKES pa enega samega, in vtali kovinsko prevodnico za zadnjo anodo. Spoj med čelno ploskvijo, na kateri je že nanosen zaslon, in cilindrom napravimo s "fritanjem". To je termični postopek, pri katerem se steklen prah (= frit), ki ga naneseemo z vezivom med spajana dela, transformira v zvezno steklasto maso. Tesnost spoja je enaka kot pri varjenih spojih. Takšen spoj se uporablja tudi pri spajanju zaslona, senčne maske in zadnjega dela steklenega balona pri barvni TV elektronki. Pri MKEM moramo z naporitvijo aluminija napraviti kontakt med luminoform, anodno prevodnico in grafitom, ki sestavlja elektrostatsko lečo. Tako pripravljen balon elektronke steklopihač v stružnici zavari na podnožje, na katerem je že privarjen elektronski top. Podnožje ima med prevodnicami črpalno cev, ki jo privarimo na vakuumski sistem.

Med črpanjem moramo v elektronki vzpostaviti ravnotežni tlak v področju  $10^{-6}$  mbar, nakar aktiviramo katodo, vžgemo getre in odtalimo črpalno cev. Laboratorijski črpalni sistem, ki smo ga zgradili namenoma za črpanje elektronk, slika 2, ima v kombinaciji naslednje črpalke: dve sorpcijski, turbomolekularno z rotacijsko predčrpalno in ionsko getrsko. Vsaka od njih je izbrana po izračunih potrebnih črpalnih hitrosti in glede na prednosti, ki so za dano črpalno povsem specifične. Med njimi je pet visokovakuumskih ventilov, ki omogočajo z eksperimenti dobljen optimalni režim črpanja.

Totalni tlak merimo sprva s Piranijevim merilnikom, v visokem vakuumu pa z ionizacijskim merilnikom. Parcialne (= delne) tlake, ki omogočajo študij razplinjevanja posameznih delov elektronke, merimo s kvadrupolnim masnim spektrometrom. Poznavanje parcialnih tlakov je izredno koristno za optimizacijo postopkov čiščenja in žarjenja. Del vakuumskega sistema z elektronkama, ki ju procesiramo, lahko med črpanjem prekrijemo s pečjo, katere časovni potek temperature nadzoruje računalnik.

Črpanje začnemo s sorpcijskima črpalnima, sukcesivno, nadaljujemo s turbomolekularno, vklopimo peč in pri temperaturi cca 250°C turbomolekularno zamen-



Slika 2: Shema vakuumskega sistema za črpanje in procesiranje elektronk. 1,2 - sorpcijska črpalčka (IEVT, lastna konstrukcija), 3 - ionsko-getrska črpalčka (LH,IG-6), 4 - turbomolekularna črpalčka (LH, Turbovac 50), 5 - zeolitna past (LH), 6 - rotacijska črpalčka (LH, Trivac D8B), 7,8,9 - pnevmatski VV ventili (IEVT), 10 - ročni VV ventil (IEVT), 11,12 - Piranijev merilnik (IEVT), 13 - ionizacijski merilnik (IEVT, IV-8), 14 - masni spektrometer (Spectramass 1000), 15,16 - elektronka (MKEM ali MKES), 17 - peč

jamo z ionsko getrsko črpalčko. Najvišja temperatura pregrevanja je 400°C, celoten čas pa približno 10 ur. Ob koncu pregrevanja dodatno prežarimo kovinske dele elektronske puške (topa) z visokofrekvenčnim indukcijskim generatorjem do ~600°C.

Oksidno katodo v elektronki šele procesiramo, saj moramo okside med postopkom formiranja pridobiti iz zmesi karbonatov ( $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$  itd), nastali  $\text{CO}_2$  pa odčrpati. Razgradnja karbonatov poteka pri temperaturi nad 1000°C, kar dosežemo s povečano močjo gretja katode, dvig parcialnega tlaka  $\text{CO}_2$  pa lahko zasledujemo z masnim spektrometrom.

Drugi del procesiranja katode imenujemo aktivacija oz. staranje. Pri tem postopku še dodatno znižamo izstopno delo za elektrone (1,0-1,2 eV), katoda pa pridobi stabilno emisivnost. Po odtalitvi črpalne cevi se v elektronki med delovanjem lahko sestava plinov spremeni. Posebno neugodno je, če začnejo prevladovati oksidirajoči plini ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), ki kontaminirajo katodo. Za preprečevanje tega procesa vgradimo v elektronko t.i. "getre", ki jih pred odtalitvijo aktiviramo z visokofrekvenčnim tokom. Iz njih izpari na steno elektronske majhna količina barija, ki veže aktivne pline in navzven izgleda kot temno zrcalo. Brez getrov bi bila življenjska doba elektronske skrajšana na nekaj deset ur delovanja.

Elektronka, ki je "prestala" opisane postopke, je primerna za nadaljnje procesiranje. Po preizkusu kvalitete elektronske puške (topa), ki določa ločljivost slike v centru zaslona, dodamo MKEM dva para odklonskih tuljav, pri MKES pa so odklonske plošče že vgrajene, zato lahko takoj izmerimo ločljivost in ugotovimo geometrijske napake odklona. Zadnja faza izdelave je zalivanje elektronske v oklop iz mumetala, za kar uporabimo primerno silikonsko gumo.

Po tej fazi premerimo vse karakteristike iz merilnega lista, ki morajo ustrezati zahtevam strogega standarda.

Končno mesto uporabe opisanih dveh tipov elektronk so prenosne ali vgrajene aparature, s katerimi želimo opazovati v optičnem sistemu povečano sliko z nekega zaslona. To je lahko navadna TV slika, ali vektorski prikaz nekih znakov oz. simbolov. Slika pri MKEM je dovolj svetla, da jo lahko pri dnevni razmerah superponiramo na naravno ozadje. Kombinirana slika je s tem močno obogatena, kar pripomore k hitrejšemu zaznavanju informacij. Angleški naziv za takšen prikaz je HUD (head up display) in se je najprej uveljavil v letalstvu.

## Seznam nekaterih novih knjig s področja vakuumske tehnike in tehnologij

**Vacuum Technology** (tretja izdaja), A. Roth, North-Holland (knjigo prodaja tudi založba Elsevier Science Publishers, Amsterdam ali New York), 1990, ISBN 0-444-86027, xx + 554 pp, cena 94.75 US\$

**Handbook of Plasma Processing Technology: Fundamentals, Etching, Deposition and Surface Interactions**, Ed. by S. M. Rossnagel, J. J. Cuomo and W. D. Westwood, Noyes Publications, NJ, USA, 1990, ISBN 0-8155-1220-1, 23 + 523 pp, cena 86 US\$

**Diamond Growth and Films**, Edited by UCFMG (Universities Carbon Films and Materials Group), Elsevier Applied Science Publishers, 1989, ISBN 1-85166-811-X, 276 pp. V knjigi so opisani japonski patenti s tega področja, ki so bili objavljeni v letih od 1967 do 1987, ter prevod dveh ruskih del:

D. V. Fedosajev, B. V. Derjagin in I. G. Varasavskaja, The Crystallization of Diamond, Nauka, Moskva, 1984

B. V. Derjagin in D. V. Fedosajev, Growth of Diamond and Graphite from the Gas Phase, Nauka, Moskva, 1977