

ZASLONI ZA KATODNE ELEKTRONKE (II. del)

Lea Županc Mežnar, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana

Screens for cathode-ray tubes (Part II)

ABSTRACT

Screen is the optical coating on the inner face plate of the cathode-ray tube, which converts the kinetic energy of the electron beam into the visible light. Screen includes the glass substrate and densely packed layer of the few microns large phosphor particles, coated by the aluminum film. In the article we will present the deposition methods of phosphor layer, the resolution and the light efficiency of the screen as well as the parameters which influence these two basic screen properties. We will also compare the conventional powder screens and newly developed thin film screens.

POVZETEK

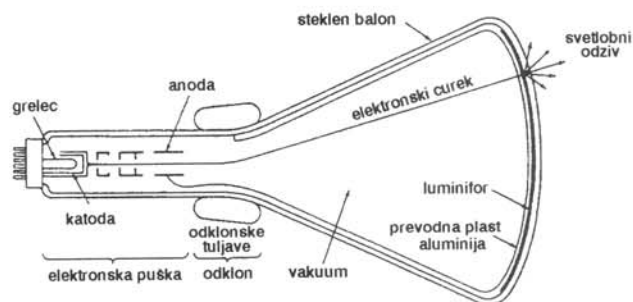
Optično plast na notranji čelni ploskvi katodne elektronke, ki kinetično energijo elektronov pretvarja v vidno svetlobo, imenujemo zaslon. Zaslon tvorijo steklena podlaga in gosto zložena plast nekaj mikrometrov velikih delcev luminiscentne snovi, prekrita z zvezno plastjo aluminija. V prispevku bodo predstavljene metode nanašanja luminiscentne plasti in osnovne lastnosti zaslonov, kot sta ločljivost in svetlobni izkoristek ter parametri, ki vplivajo na ti dve lastnosti. Na koncu bo podana tudi primerjava navadnih praškastih in novejših tankoplastnih zaslonov.

1 UVOD

V prvem delu prispevka /1/ sem predstavila pojav luminiscence in katodoluminiscence ter osnovne lastnosti luminiscentnih snovi, kot so: barva, svetlobni odziv, persistenca, kemijska sestava in morfološke lastnosti. V drugem delu pa bom predstavila zaslone za katodne elektronke in njihove lastnosti.

Katodne elektronke letos praznujejo svoj stoti rojstni dan. Zgodovinski pregled in osnove delovanja katodnih elektronk so bile že predstavljene v Vakuumistu /2,3/, zato bom le na kratko opisala princip njihovega delovanja.

Katodna elektronka je naprava, ki pretvarja električni signal v svetlobnega /4/. V grobem je sestavljena iz dveh sklopov: steklene cevi z zaslonom na čelni ploskvi in elektronske puške v notranjosti (slika 1). Katoda je izvir elektronov, ki se v anodnem delu zberejo in pospešijo do energije 5-30 keV, v odklonskem delu (magnetnem polju tuljav ali električnem polju med ploščama) pa se odklonijo v določeno točko na zaslonu.

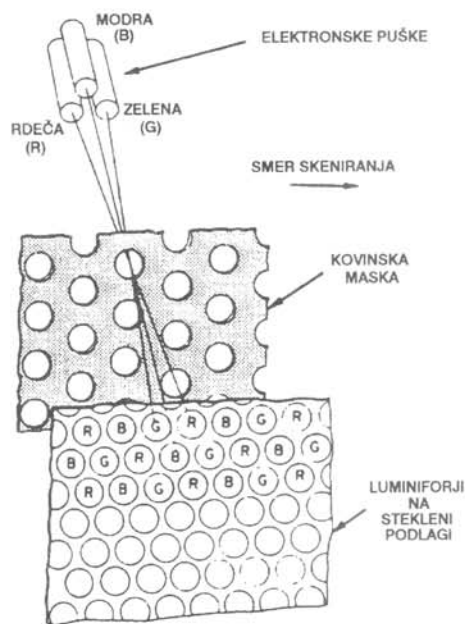


Slika 1. Katodna elektronka z elektrostatskim fokusiranjem in magnetnim odklonom /4/

V elektronki je visoki vakuum (10^{-7} mbar), ki zagotavlja nemoteno gibanje elektronov ter stabilnost fizikalno-kemijskih procesov na katodi in zaslonu. Delovanje v visokem vakuumu in pri visokih napetostih zahteva posebne postopke kemijskega čiščenja in žarjenja osnovnih komponent ter pazljiv izbor materialov.

2 ZASLONI ZA KATODNE ELEKTRONKE

Najpomembnejši del zaslon je tanka plast luminiscentne snovi, nanesene na stekleno podlago, ki pri trku z elektroni pretvori njihovo kinetično energijo v vidno svetlobo. Plasti najpogosteje nanašajo iz vodne suspenzije nekaj mikrometrov velikih delcev. Od vrste luminiforja je odvisno, kateri del vidnega spektra (barvo) bo emitiral zaslon. Zaslone so lahko monokromatski (enobarvni) ali barvni. Pri barvnih zaslonih so naneseni trije osnovni luminiforji: rdeč, moder in zelen, v obliki majhnih krogcev (slika 2) ali ozkih vzporednih črt.

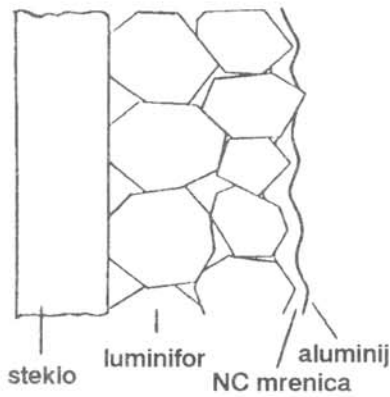


Slika 2. Shematski prikaz vzbujevanja zaslon s senčno masko v barvni katodni elektronki /4/

2.1 Zgradba monokromatskega zaslon

Znano je, da je velikost in oblika zaslonov lahko zelo različna. Pri najmanjši (miniaturni) katodni elektronki ima zaslon koristni premer 15 mm, pri večjih s kvadratno ali pravokotno obliko pa lahko diagonala meri do približno 62 cm (3-25 inch). Ne glede na velikost in zunanjo obliko imajo vsi zaslone enako zgradbo (slika 3). Zaslon sestavljajo:

1. steklena podlaga
2. luminiscentna plast
3. organska mrenica
4. plast aluminija

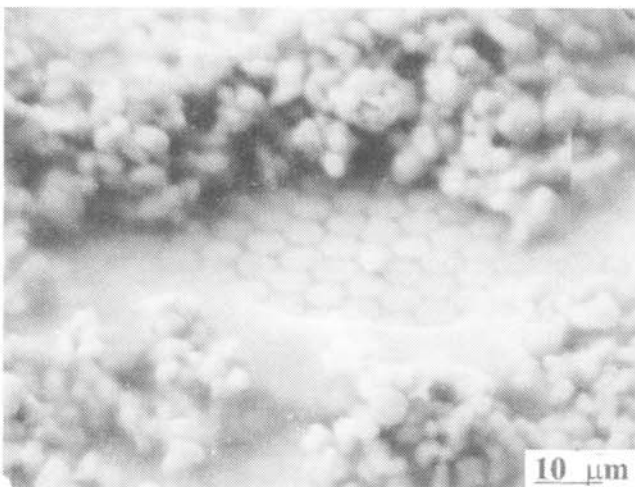


Slika 3. Zgradba praškastega zaslona za katodne elektronke

Steklena podlaga je sestavni del elektronke, ki je po izdelavi zaslona s steklenim spojem pričvrščena na stekleni vrat. Lahko pa je kar del steklenega ohišja (slika 1). Podlaga je nekaj milimetrov debelo steklo, pri profesionalnih napravah pa je lahko optično ali vlaknasto steklo (fiber optics), kjer je premer vlaken 3 ali 5 μm . Podlaga vpliva na ločljivost in kontrast zaslona; nanjo je lahko nanesena še prozorna prevodna plast.

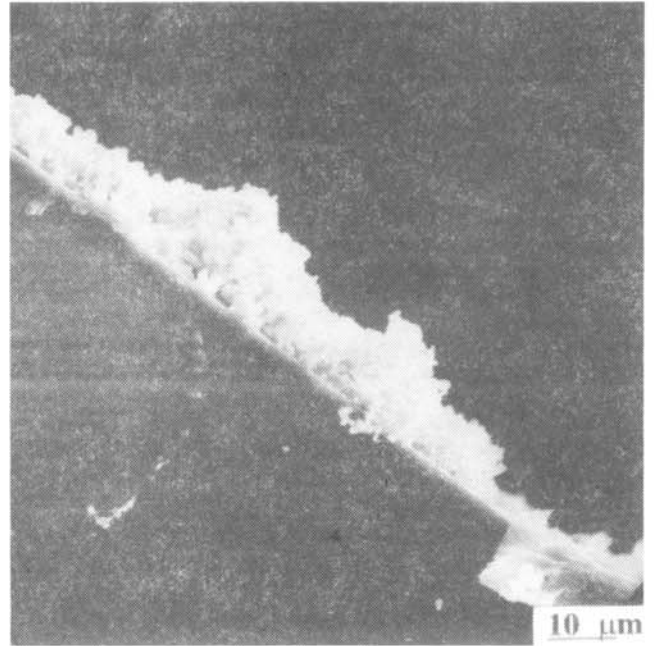
Luminiscentno plast sestavljajo gosto zloženi delci luminiscentnega prahu, povezani med seboj in na stekleno podlago z vezivom. Uporabljajo se le anorganska veziva, ki niso razgradljiva pri trkih z elektroni. Glede na želene lastnosti zaslona oz. prikazalnika (barva, persistenca, svetlobni izkoristek, delež absorbirane energije, sproščene pri trku elektronov, napetost nasičenja) bomo uporabili enega izmed 60 različnih katodoluminiscentnih snovi [1].

Organska mrenica je nanesena na hrapavo površino luminiscentne snovi zato, da bo plast, ki ji sledi (aluminij), zvezna (slika 4). Uporabljamo lahko 1% raztopino nitroceluloze v organskih topilih. Po naparevanju aluminija to organsko plast odžgemo, ker bi sicer prišlo do razgradnje med delovanjem elektronke in zastrupljanja katode.

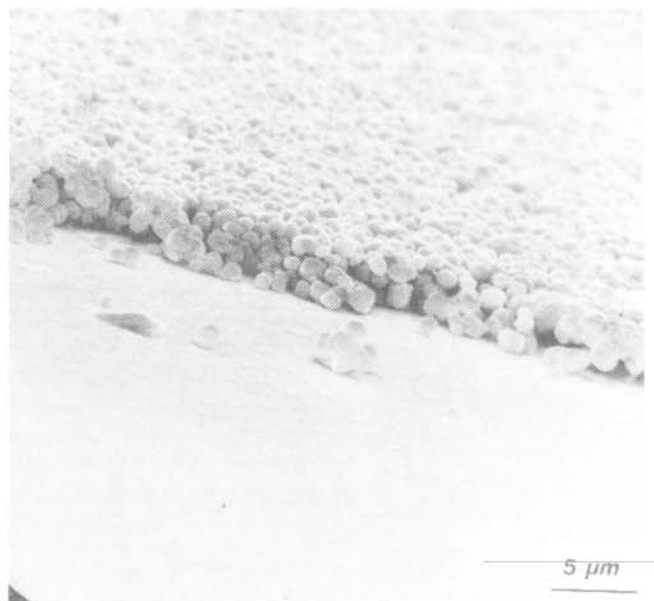


Slika 4. Praškasta luminiscentna plast, nanesena s sedimentacijo v centrifugi na podlago iz vlaknastega stekla. Plast prekriva tanka nitrocelulozna mrenica [5]

Plast aluminija je debela približno 100 nm. Debelina je odvisna od pospeševalne napetosti in je lahko pri višjih napetostih večja. Aluminij naporimo v visokem vakuumu. Plast je prevodna, tako da je potencial enakomerno porazdeljen po zaslonu. Hkrati pa rabi tudi kot zrcalo za izsevano svetlobo iz zaslona, ki se širi v notranjost elektronke. Pri vzbujanju luminiscentne snovi ta izseva svetlobo v vse smeri, tako da koristno izrabimo le del svetlobe v smeri opazovalca. Svetlobni izkoristek zaslona z aluminijem je pri dani napetosti približno za polovico večji kot pri nealuminiziranem zaslonu.



Slika 5. Prelom zaslona, kjer je luminiscentna plast nanesena z gravitacijskim posedanjem (bel luminifor P45 - $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S:Tb}$) [5]



Slika 6. Luminiscentna plast, nanesena z napaševanjem na lepljivo površino (zelen luminifor P20 - $(\text{Zn,Cd})\text{S:Ag}$) [5]

2.2 Metode nanašanja luminiscentne plasti

Luminiscentno snov lahko nanesemo na površino steklene podlage z različnimi postopki: z gravitacijskim posedanjem suspenzije, centrifugiranjem suspenzije, napraševanjem na lepljivo površino ali z elektroforezo. Na sliki 5 je prikazan prelom zaslona, prekritega s prosto sedimentacijo vodne suspenzije luminiforja. Ta tehnika se največ uporablja pri izdelavi zaslonov za široko porabo (TV sprejemniki, računalniški monitorji). Za zaslone z boljšimi lastnostmi moramo uporabiti drugačne, zgoraj navedene metode (sliki 4, 6).

2.3 Ločljivost in svetlobni izkoristek zaslonov

Najpomembnejši lastnosti zaslonov sta ločljivost in svetlobni izkoristek. Ločljivost zvišujemo s tanjšanjem aktivne plasti, bolj gostim nanosom, z izborom snovi z manjšimi delci in z ožanjem elektronskega curka, s katerim vzbujamo katodoluminiscentno plast. Svetlobni izkoristek pa je višji pri debelejših plasteh, pri snoveh z večjimi delci in pri višjih energijah vzbujanja. Zato je razumljivo, da je potrebno debelino zaslona optimizirati.

Ločljivost katodne elektronke lahko podamo kot premer svetlobne točke ali črte, ki jo na zaslonu vzbujamo z elektroni pri določenem toku in potencialu, ali kot število linijskih parov na milimeter (lpm). Celotni premer svetlobne točke (d_c) je izražen z naslednjo enačbo /6/:

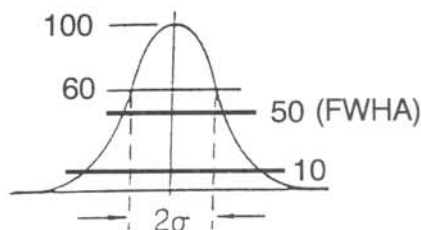
$$d_c^2 = d_e^2 + d_z^2 + d_o^2 \quad (1)$$

kjer d_e pomeni prispevek elektronske puške (sferična aberacija, astigmatizem), d_z je prispevek luminiscentne plasti, d_o pa so drugi prispevki (npr. ločljivost podlage). Ko potujemo z ozko režo čez vzbujeno črto na zaslonu in s fotometrom merimo njeno svetlost, ima ta obliko Gaussove krivulje (slika 7). Ločljivost je lahko podana kot premer črte oz. širina Gaussove krivulje na 60%, 10% ali na polovici višine krivulje (FWHA, full width half amplitude).

Svetlobni izkoristek ϵ je definiran z razmerjem med izsevano svetlostjo zaslona L in energijo vzbujanja Q_i , energijski izkoristek η_e pa z razmerjem izsevane in vzbujevalne energije /8/:

$$\epsilon = \frac{L}{Q_i} \quad (2)$$

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_i} \quad (3)$$



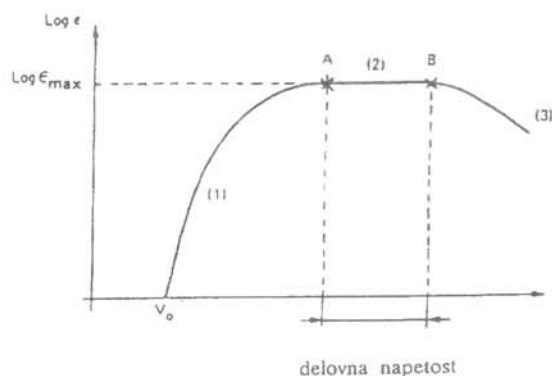
Slika 7. Porazdelitev svetlobe v vzbujeni črti na zaslonu ima obliko Gaussove krivulje /7/

Kadar je detektor človeško oko, je primerneje uporabiti svetlobni izkoristek zaslona, če pa je detektor film ali fotopomnoževalka, se uporablja izkoristek, kjer je emitirana svetloba izražena kot energija.

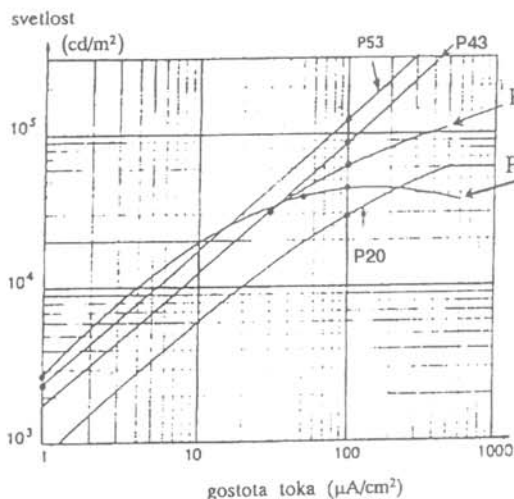
2.3.1 Parametri, ki vplivajo na svetlobni odziv zaslonov

Vpliv napetosti na svetlobni izkoristek prikazuje slika 8. Luminiscentni zaslon zasveti šele pri določeni napetosti V_0 (1-4 kV), ki je odvisna od debeline plasti aluminija in debeline neaktivne plasti na površini delcev, ki jih sestavljajo oplaščenje (npr. SiO_2 ali Al_2O_3), površinski defekti in vezivo. V prvem delu krivulje se svetlobni izkoristek viša do maksimalne vrednosti, ki je odvisna od luminiscentne snovi in metode nanosa. Med točkama A in B je delovno območje elektronke. V tretjem delu je energija elektronov že tolikšna, da je njihova vstopna globina večja od debeline luminiscentne plasti in elektroni izgubijo velik del energije pri trkih s stekleno podlago. Zaradi povišane temperature prihaja na steklu do kemijskih reakcij in s tem do temnenja podlage.

Vpliv gostote toka na svetlost zaslona: v območju do $10 \mu A/cm^2$ svetlost večine luminiscentnih snovi linearno narašča, potem pa pride do neemitivnih procesov ali nasičenja (slika 9). Luminiforji, ki imajo



Slika 8. Vpliv pospeševalne napetosti na svetlobni izkoristek zaslona /8/



Slika 9. Svetlost zaslona v odvisnosti od gostote toka pri napetosti 16 kV /8/

linearno odvisnost tudi pri višjih vrednostih (P53 in P43), so primerni za uporabo v napravah, kjer se zahteva visoka svetlost.

Staranje luminiscentne plasti je pojav, kjer se svetlobni odziv katodne elektronke s časom delovanja znižuje, odvisno od razmer pri vzbujanju. Svetlobni izkoristek se po 1000-2000 urah zniža na polovico, kar se navzven pokaže kot sivenje ali kot moteče praznine na zaslonu in omejuje trajnost naprav. Poleg trajnega uničenja plasti poznamo tudi začasno ali reverzibilno izgubo izkoristka. Če večamo energijo elektronov, se veča tudi svetlobni odziv in temperatura luminiforja, dokler ne pride do nasičenja, potem pa svetlost pada, dokler zaslon ne preneha svetiti. Če vzbujanje prekinemo in plast ohladimo, le-ta ponovno emitira svetlobo.

V enačbi 4 /8/ je podan izraz, ki pove, koliko naboja Q luminiscentna snov lahko sprejme, da se začetna vrednost svetlobnega izkoristka zniža na polovico, kar je merilo za trajnost zaslona in celotnega prikazalnika:

$$\varepsilon_{0,5} = \varepsilon_0 \cdot [1 / (1 + C \cdot Q)] \quad (4)$$

(C =konstanta za določeno snov)

Nekateri parametri, ki vplivajo na staranje, so zbrani v tabeli 1. Luminiforji P1, P43, P45 in P53 lahko prejmejo velike gostote naboja: od 80 do 120 C/cm², in so zato najprimernejši za izdelavo zaslonov za naprave, kjer se zahteva visoka svetlost (prikazalniki v pilotski kabini, projekcijske elektronke).

Mehanizmi staranja še niso dobro znani in se za snovi z različno kemijsko sestavo razlikujejo. Pri nekaterih luminiforjih pride do temnenja plasti zato, ker se kovinski ioni na površini delcev reducirajo in ta temna plast potem absorbira izsevano svetlobo. Pod vplivom elektronskega curka prihaja tudi do strukturnih sprememb.

TABELA 1. Vpliv različnih parametrov na staranje zaslona v katodni elektronki /8/

Parameter	Vpliv na staranje
Luminifor velikost delcev kristalna faza	manjši delci so bolj občutljivi razlike v svetlobnem odzivu do 1:10 za različne faze
Pogoji vzbujanja pospeševalna napetost raster ali dc vzbujanje temperatura	ne vpliva ne vpliva višja ko je temperatura, hujše so poškodbe luminiscentne snovi
Vakuum	ioni 10-krat močneje poškodujejo snov kot elektroni

Ti procesi so lahko hitri, imenujemo jih tudi sežig, saj elektronski curek z energijo 2 W/cm² upari plast aluminija in luminiforja ter poškoduje stekleno podlago. Pri vzbujanju zaslonov raje uporabljamo visoke napetosti in nizke tokove (nekaj μ A). Staranje zaslonov je odvisno od vrste luminiscentne snovi, lastnosti plasti, uporabljenega veziva in režima vzbujanja (Zgled: naprava, kjer je luminiscentna plast iz P11, bo pri toku 1 A/cm² delovala le 16 sekund).

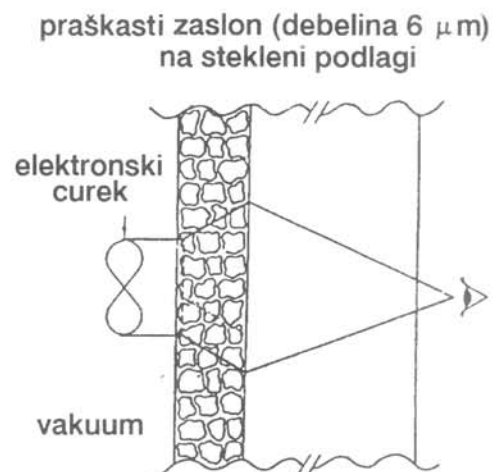
Zaslon navadno vzbujamo tako, da vodimo curek elektronov po njegovi površini (raster). Pri tem so obremenitve zaslona mnogo nižje, kot če bi vzbujali le določeno točko (alfanumerični znaki).

Lastnost zaslona, ki povezuje izsevalni čas in frekvenco vzbujanja, se imenuje utripanje (flicker). Če posredujemo informacijo 25-krat na sekundo, jo oko zazna kot kontinuirno. Nekoliko prispevajo tudi svetlost, barva in velikost zaslona, osvetljenost prostora, zorni kot opazovalca in premikanja slike na zaslonu. Bolj ekonomično je znižati frekvenco vzbujanja in uporabiti luminifor z daljšim izsevalnim časom (antiflicker phosphors).

2.4 Primerjava praškastih in tankoplastnih zaslonov

Praškasti zasloni so konglomerati kristaliničnih delcev, nanosenih v plast, debelo nekaj mikrometrov, ki so med seboj in na podlago vezani z vezivom. Zaradi majhne stične ploskve med delci in stekleno površino podlage so luminiscentne plasti termično slabo prevodne in nagnjene k poškodbam zaradi visokoenergijskega elektronskega curka. Čeprav je prevodnost odvisna od vrste snovi, debeline plasti in drugih fizikalnih lastnosti, velja, da je 1 W/cm² maksimalna dovoljena vrednost za gostoto energije, ki jo plast še lahko prejme. Trikrat višja energija pa že trajno uniči luminifor.

Poroznost praškastega nanosa prispeva k slabši ločljivosti in kontrastu. Ko kristale luminiforja vzbudimo z elektroni, se izsevana svetloba sipa znotraj zrn, pa tudi med zrni zunaj vzbujenega področja (slika 10). Posebej je sipanje izraženo pri plasteh z velikimi delci, ki imajo majhno gostoto in pri visokih energijah vzbujanja, kjer pride do odbojnih sil med elektroni v curku.

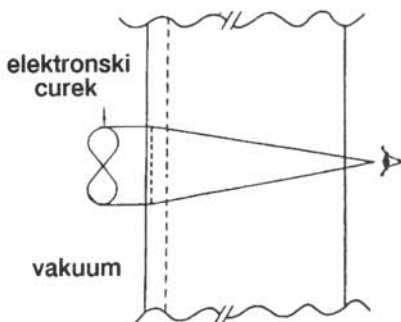


Slika 10. Vzbujanje, izsevane in sipanje svetlobe pri praškastem zaslonu /6/

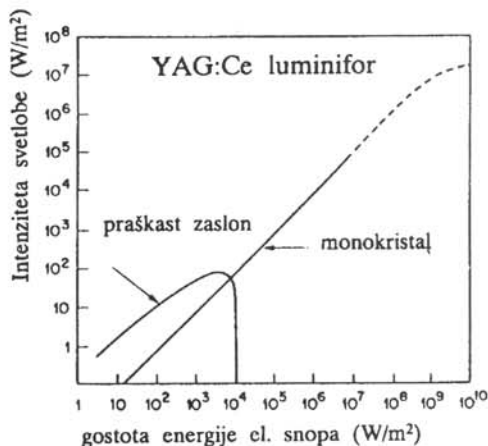
Da bi presegli pomanjkljivosti praškastih zaslonov, so začeli raziskovati tankoplastne nanose. Spektralna porazdelitev izsevane svetlobe in persistenca ostaneta pri tankoplastnih zaslonih enaki, močno pa se spremenijo svetlobni izkoristek, ločljivost in obstojnost snovi pri visokih energijah vzbujanja.

Metode nanašanja tankoplastnih zaslonov so: CVD postopek (chemical vapour deposition), rf naprševanje, sol-gel postopek in drugi. Plast je homogena, ločljivost zaslona je enaka premeru elektronskega snopa, ker ni sipanja svetlobe in elektronov na delcih (slika 11), kontrast je boljši zaradi nižje refleksije tankoplastnega zaslona, odpornost na sežig je zaradi dobrega kontakta s podlago neprimerno višja kot pri praškastem zaslonu. Nižji pa je "zunanj" svetlobni izkoristek zaradi pojava totalnega odboja znotraj plasti. Tako svetijo le robovi tanke plasti. Pri istih pogojih vzbujanja

tankoplastni zaslon (debeline 2 μm)
na safirni podlagi



Slika 11. Vzbujanje in izsevanje svetlobe pri tankoplastnem zaslonu [6]



Slika 12. Odvisnost svetlobnega odziva od gostote energije elektronskega curka pri praškastem in tankoplastnem zaslonu [10]

daje tankoplastni zaslon določene snovi le 10% svetlobe praškastega zaslona. Izguba svetlosti je premo sorazmerna z lomnim količnikom, zato izbiramo snovi z nizkim lomnim količnikom [9]. Zaradi boljše termične prevodnosti pa lahko tanko plast vzbujamo z višjo energijo in tako dobimo večji svetlobni odziv (slika 12).

Svetlobni izkoristek tankih luminiscentnih plasti je odvisen od števila defektov, zato morajo imeti čim bolj urejeno kristalinično strukturo. To dosežemo z visokotemperaturno obdelavo, zato je potrebno plasti nanesti na safirne ali kremenove podlage. Tankoplastne zaslone uporabljajo le za profesionalne elektronke, kjer sme biti zaradi izboljšanih lastnosti tudi cena višja.

3 SKLEP

V prispevku smo predstavili kratek pregled luminiscentnih zaslonov za katodne elektronke. Opisali smo zgradbe, metode nanašanja in osnovne lastnosti zaslonov. Primerjali smo tudi praškaste in tankoplastne zaslone glede na njihovo termično obstojnost, ločljivost in svetlobni izkoristek.

ZAHVALA

Zahvaljujem se Ministrstvu za znanost in tehnologijo, ki mi je omogočilo opraviti raziskovalno delo v okviru magistrske naloge.

4 LITERATURA

- /1/ L. Županc-Mežnar, Luminiscentne snovi (I. del), Vakuumist, 16/3 (1996) 14
- /2/ S. Južnič, V. Nemanič, Iznajdba in razvoj katodne elektronke in drugih vakuumskih elementov za televizijo (I. del), Vakuumist, 16/1 (1996) 19
- /3/ S. Južnič, V. Nemanič, Iznajdba in razvoj katodne elektronke in drugih vakuumskih elementov za televizijo (II. del), Vakuumist, 16/2 (1996) 15
- /4/ L.E. Tannas, Flat-panel displays and CRTs, Van Nostrand Reinhold company, New York, 1985
- /5/ L. Županc-Mežnar, Priprava in lastnosti luminiscentnih snovi ter izdelava zaslonov za katodne elektronke, magistrsko delo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, 1996
- /6/ E. Sluzky and K. Hesse, High-resolution phosphor screens, J. Electrochem. Soc., 135 (1988) 2893
- /7/ E. Sluzky, T. Avalos and K. Hesse, Evaluating the resolution of ultra-fine-grain phosphor screens, J. SID, 1 (1993) 3
- /8/ A. Martin, Cathode Ray Tubes for Military Applications, Advances in Electronics and Electron Physics, Academic Press, New York, 67 (1986) 183
- /9/ J. Shmulovich and D.F. Kocian, Thin-film phosphors for miniature CRTs used in helmet-mounted displays, SID Intl. Symp. Digest Tech. Papers, 30 (1989) 297
- /10/ A.M. Wittenberg, Single-crystal garnet phosphors, Information Display, 3 (1987) 14