

DIELEKTRIČNI BARVNI FILTRI

Andrej Demšar, Janez Lindav in Slavko Rus, Iskra Elektrooptika d.d., Stegne 7, 61210 Ljubljana

1. Uvod

Barvni filtri razdelijo polje vidne svetlobe (valovne dolžine od 400-700 nm) na tri barvna območja: en del svetlobnega valovanja namreč prepuščajo, drugega pa odbijajo. Tako je npr. rdeči aditivni filter presojen za rdečo svetlobo, odbija pa zeleno in modro.

Barvne filtre uporabljamo v TV kamerah, fotokopirnih strojih, filmskih procesorjih in povečevalnih glavah, barvni korekciji, prikazalnikih, studijski osvetlitvi - torej povsod tam, kjer želimo oz. potrebujemo ločitev barv.

Dielektrični barvni filtri so v primerjavi z barvnimi stekli in želatinskimi filtri spektralno stabilnejši in bolje definirani (premik spektra po valovnih dolžinah je manjši oz. ga ni) ter fizično obstojnejši. Imajo visoko prepustnost oz. odbojnost pri želeni barvi in praktično ne absorbirajo energije.

2. Oblikovanje filtrov /1,3,4,5/

Za izdelavo dielektrične filterske plasti na steklu (kratko: filtra) navadno uporabljamo materiala z visokim ($1.9 < n < 2.5$) in nizkim ($1.3 < n < 1.5$) lomnim količnikom. Kadar pa želimo, da imajo filtri omenjene lastnosti na širokem valovnem območju (npr. vidno in bližnje infra rdeče), potem vzamemo tri ali več materialov. Interferenčni efekt, tj. ojačitev ali oslabitev elektromagnetnega valovanja, dosežemo z izmeničnim nanosom tankih plasti ($\sim 100\text{nm}$) izbranih materialov na steklene podlage v vakuumu (v nekaterih primerih lahko uporabimo kot podlago tudi plastično snov).

Osnovno sestavo dielektričnega filtra zapišemo takole: zrak - $(LH)^m$ - steklo, kjer pomeni L material z nizkim lomnim količnikom, H pa z visokim; m je število parov teh materialov, ki smo jih nanесли na podlago.

Optične debeline materialov L in H so enake četrtini izbrane valovne dolžine ($\lambda_0/4$). Odbojnost je premo sorazmerno odvisna od razmerja n_H/n_L in števila parov m. Pri dveh izbranih materialih lahko velikost odbojnosti povečujemo s številom parov nanosenih plasti. Dodatno pa jo lahko povečamo tako, da nanašanje plasti končamo z visokolomnim materialom: zrak - $H(LH)^m$ - steklo.

Presojnost lahko v območju, ki je zunaj visoke odbojnosti, povečamo oziroma popravimo:

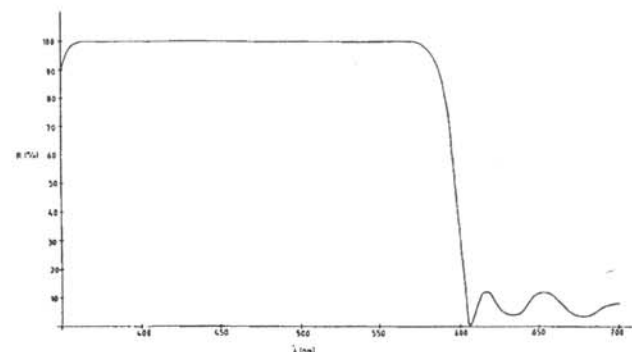
- z dodatnimi plastmi, ki nimajo take optične debeline, kot je osnovni paket $(LH)^m$, npr.: zrak - $L'H'(LH)^m L'H''$ - steklo
- s spreminjanjem debelin plasti.

Vsaka plast ima namreč svojo optično debelino, nekoliko različno od osnovne $\lambda_0/4$. Presojnost in odbojnost sta pri dielektričnih večplastnih filterskih strukturah odvisni od vpadnega kota svetlobe. Če je vpadla svetloba kolimirana (svetlobni žarki padajo vzporedno), so težave zaradi tega zanemarljive. Pri zelo konvergentni svetlobi pa je vpliv spremembe vpadnega kota svetlobe na spektralno krivuljo velik (navadno se krivulja premakne h krajšim valovnim dolžinam). Te težave rešujemo z uporabo materialov s čim večjim lomnim količnikom (razmerje n_H/n_L se pri tem seveda zmanjša) in z debelejšimi plastmi visokolomnega materiala: zrak - $(LHH)^m$ - steklo.

2.1 Rdeči aditivni filter

Sestava: $0.8 ((H/2)L(H/2))^7 L ((H/2)L(H/2))^9$
 $\lambda_0 = 500 \text{ nm}; n_H = 2.32; n_L = 1.46$

Učinkovit način povečanja prepustnosti na dolgovalovni strani je uporaba polovične debeline visokolomnega materiala na obeh straneh odbojnega paketa (zrak - $(H/2)(LH)^m L(H/2)$ - steklo), kar lahko zapišemo kot: zrak - $((H/2)L(H/2))^{m+1}$ - steklo.



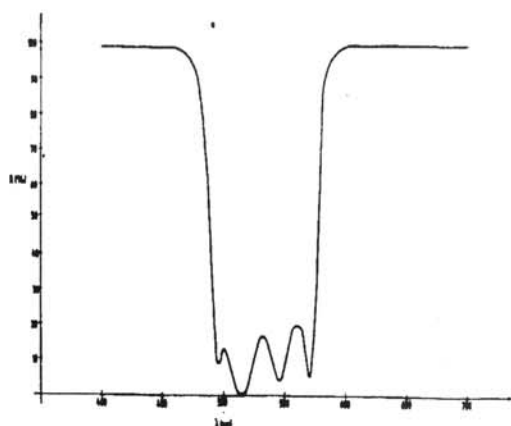
Slika 1: Spektralna karakteristika rdečega aditivnega filtra: odvisnost odbojnosti R od valovne dolžine svetlobe λ .

Da bi dobili filter, ki je presojen za rdečo svetlobo, moramo poskrbeti, da se zelena in modra barva odbijata, kar dosežemo z dvema reflektorjema (glej sestavo). Na sliki 1 je prikazana spektralna karakteristika rdečega aditivnega filtra.

2.2 Zeleni aditivni filter

Sestava: $0.66 ((H/2)L(H/2)) (a_1L, b_1H, a_2L, b_2H, a_3L, b_3H, a_4L, b_4H, a_5L, b_5H, a_6L, b_6H, a_7L, b_7H, a_8L, b_8H, a_9L, b_9H, a_{10}L, b_{10}H)$
 $\lambda_0 = 600 \text{ nm}; n_H = 2.32; n_L = 1.46$

Drugi del sestave je optimiziran z računalnikom. Optične debeline nekoliko odstopajo od tistih, ki maksimalno prepuščajo svetlobo z λ_0 . Spektralno karakteristiko tega filtra prikazuje slika 2. Filter je presojen za svetlobo zelene barve, odbija pa modro in rdečo.

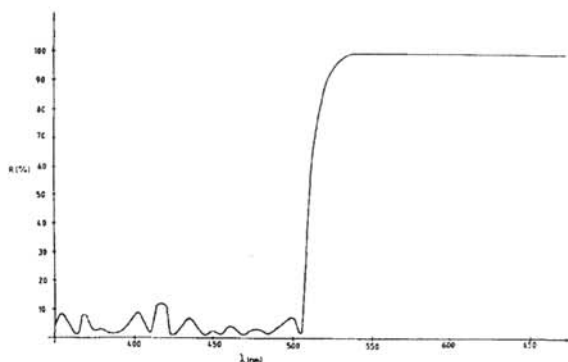


Slika 2: Spektralna karakteristika zelenega aditivnega filtra: odvisnost odbojnosti R od valovne dolžine λ .

2.3 Modri aditivni filter

Sestava: (a_1L , b_1H , a_2L , b_2H ,, $a_{19}L$, $b_{19}H$, $a_{20}L$, $b_{20}H$)
 $\lambda_0 = 400 \text{ nm}$; $n_H = 2.32$; $n_L = 1.46$

Modri aditivni filter je presojen za svetlobo modre barve, zeleno in rdečo pa odbija. Tak filter ima torej prepustno območje na kratkovalovni strani. Povečanje prepustnosti je tu zahtevnejše kot na dolgovalovni strani (npr. pri rdečem filtru). Zato smo osnovna $\lambda_0/4$ paketa za rdeči in modri reflektor optimizirali z računalnikom. Spektralna karakteristika je na sliki 3.



Slika 3: Spektralna karakteristika modrega aditivnega filtra: odvisnost odbojnosti R od valovne dolžine svetlobe λ .

3. Nanašanje dielektričnih materialov /2/

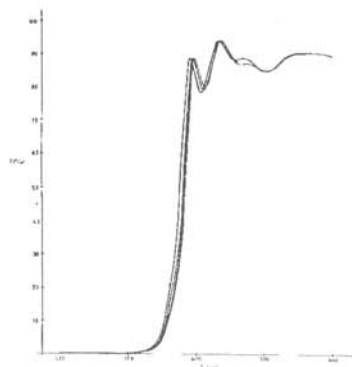
Za pripravo tankih plasti (do nekaj μm) na steklenih podlagah uporabljamo vakuumske metode nanašanja (PVD-physical vapour deposition). Material izpareva iz

izvira in kondenzira na podlagi. Ta, v principu fizikalen proces lahko spremljajo tudi kemične reakcije (reaktivno nanašanje). Uporabljamo tri tehnike nanašanja:

- naparevanje
- naprševanje
- ionsko prekrivanje

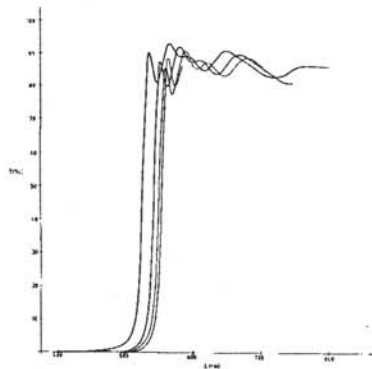
Klasičen način nanašanja dielektričnih plasti je naparevanje. Tlak v naparevalniku je 10^{-6} mbar, med reaktivnim nanašanjem pa med 10^{-4} in 10^{-3} mbar. Materiale izparevamo s segrevanjem oz. taljenjem v grelniku ali z elektronsko puško (značilne talilne temperature so med 1300 in 2500°C).

Na kvaliteto prekritja in ponovljivost naparevanja vplivajo poleg vakuuma in izbranega postopka nanašanja še temperatura podlage, odstopanje debeline neparjenih plasti od izračunanih vrednosti ter dimenzije ali geometrija naparevalnika. Od naštetih parametrov sta odvisna lomni količnik in geometrijska debelina posameznih plasti. Produkt obeh količin je optična debelina, ki je osnova za interferenčni efekt. Vsaka sprememba optične debeline posameznih plasti pomeni spremembo spektralne karakteristike prekritja.

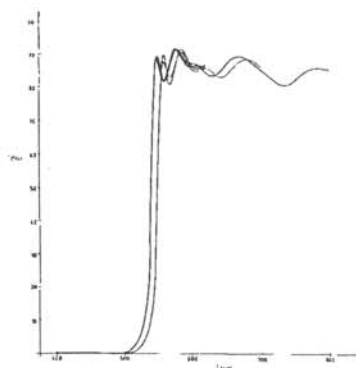


Slika 4: Spektralne karakteristike rdečih filtrov na istočasno neparjenih vzorcih (z uporabo korekcijske zaslonke): odvisnost presojnosti T od valovne dolžine svetlobe λ (50% T pri 580 nm).

Slika 4 prikazuje spektre rdečega filtra. Njihova porazdelitev je znotraj intervala 10 nm. Spektralne karakteristike so bile posnete na istočasno neparjenih vzorcih, ki so bili postavljeni na različnih mestih v naparevalniku. Zadovoljiva enakomernost je bila dosežena z uporabo korekcijske zaslonke. Brez nje smo dobili spektralne porazdelitve, ki jih prikazuje slika 5, učinek zmanjšanja temperature podlage s 280 na 260°C pa slika 6. Porazdelitve ostajajo podobne tistim na sliki 4, le da polovica prepustnosti ni več pri 580 nm, ampak pri 545 nm. Spektralne krivulje so se torej "preselile" h krajšim valovnim dolžinam. Do selitve spektralnih krivulj k daljšim valovnim dolžinam pride, če ne upoštevamo debeline že neparjenih plasti na kremenovem kristalu mikrotehnice, ki nam rabi kot merilnik debeline.



Slika 5: Spektralne karakteristike rdečih filtrov, dobljene pri naparevanju brez korekcijske zaslone: odvisnost presojnosti T od valovne dolžine svetlobe λ .



Slika 6: Premik spektralne karakteristike zaradi spremembe temperature: odvisnost presojnosti T od valovne dolžine svetlobe λ (50% T pri 545 nm).

4. Zaključek

Za ponovljivo izdelavo kvalitetnih barvnih filtrov so poleg spektralnih karakteristik pomembne še mehanske lastnosti plasti (oprijemljivost na podlago, mikrotrdota) in odpornost na klimatske vplive. Najprimernejši materiali, ki ustrezajo postavljenim zahtevam, so oksidi. Izbrali smo TiO_2 z $n = 2.32$ in SiO_2 z $n = 1.46$, oboje pri 600 nm. Za to kombinacijo materialov so bili narejeni naši teoretični izračuni in filtri.

5. Literatura

- /1/ L. I. Epstein, The design of optical filters, J. Opt. Soc. Am., 42, 806-810, 1952
- /2/ H. K. Pulker, Coatings on glass, Elsevier, Amsterdam, 1984
- /3/ H. A. Macleod, Thin film optical filters, Sec. edition, Adam Hilger Ltd., Bristol, 1986
- /4/ A. Demšar, J. Lindav, Interferenčni filter na safirju za 4.4 mm, X. jug. vak. kongres, Bilten JUVAK 22, 1986
- /5/ A. Thelen, Design of optical interference coatings, McGraw-Hill Company, 1989

LEYBOLD AG v sodelovanju z MEDIVAK, Peternelova 21, 61230 Domžale

vam nudi tečaj za ODKRIVANJE VAKUUMSKO NETESNIH MEST ("leak" detekcija)

- Teme:**
- Definicije, merske enote, iskanje netesnosti brez detektorja, iskanje netesnih mest s testnimi plini (halogeni, helij)
 - Teoretične osnove helijske detekcije in računske vaje
 - Spoznavanje in opis opreme
 - Priključevanje detektorja in vakuumske naprave
 - Metode odkrivanja s srkalno sondo
 - Razgovor o problemih iz kroga tečajnikov
 - Praktične vaje (po želji tečajnikov)
- Trajanje:**
- 2-3 dni
- Datum tečaja:**
- po dogovoru
- Cena:**
- 500 DEM v dinarski protivrednosti po srednjem tečaju
- Prijave:**
- **MEDIVAK,**
Peternelova 21, 61230 Domžale, telefon: (061)713-060, telefax: (061)713-060.