

VAJA 7. - VEČSLOJNO OPTIČNO FREKVENČNO PASOVNO SITO

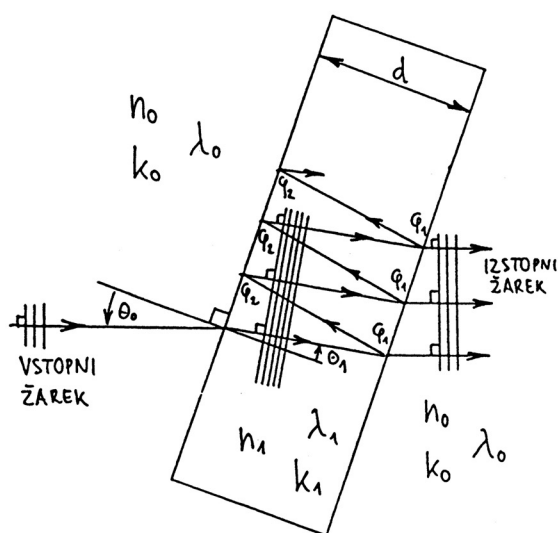
7.1. Optična frekvenčna sita

Podobno kot na nižjih frekvencah, v radijskem spektru, potrebujemo tudi v optiki različna frekvenčna sita: pasovna sita, nizko- in visoko-prepustna sita ter zaporna sita. Optična frekvenčna sita lahko izdelamo na več različnih načinov. Najenostavnejša optična sita uporabljajo kar lastnosti nekaterih snovi (barvil), da različno močno vpijajo (slabijo) svetlobo različnih valovnih dolžin.

Z barvili seveda ne moremo izdelati zelo ozkih optičnih frekvenčnih sit. Poleg tega je razpoložljivost barvil, njihovih valovnih dolžin in frekvenčnih pasovnih širin omejena na končen nabor. Slaba lastnost barvil je tudi ta, da vpito svetlobo neposredno pretvorijo v toploto, zato jih ne moremo uporabljati pri velikih gostotah moči (jedro enorodovnega optičnega vlakna ali laser).

Dosti večjo svobodo izbire imamo pri načrtovanju optičnih sit, ki uporabljajo interferenčne pojave v sicer brezizgubnih snoveh. Lastnosti takšnih optičnih sit seveda niso odvisne le od lomnih količnikov uporabljenih snovi, pač pa tudi od oblike in izmer sestavnih delov sita. Sita, ki uporabljajo interferenčne pojave, imajo lahko zelo ozek frekvenčni odziv (naprimer laserski rezonator).

Kot optično frekvenčno sito se naprimer obnaša že povsem navadna ploščica iz brezizgubnega dielektrika, kot je to prikazano na sliki 7.1. Vstopni žarek se znotraj ploščice večkrat odbije od prednje in zadnje strani ploščice. Izstopni žarek bo najmočnejši takrat, ko zadostimo pogoju za prečno rezonanco ploščice.



Pogoj za rezonanco:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + 2k_1 d \cos \theta_1 = m 2\pi$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$k_1 = \frac{n_1}{n_0} k_0 = \frac{n_1}{n_0} \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$$\cos \theta_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1} = \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0}$$

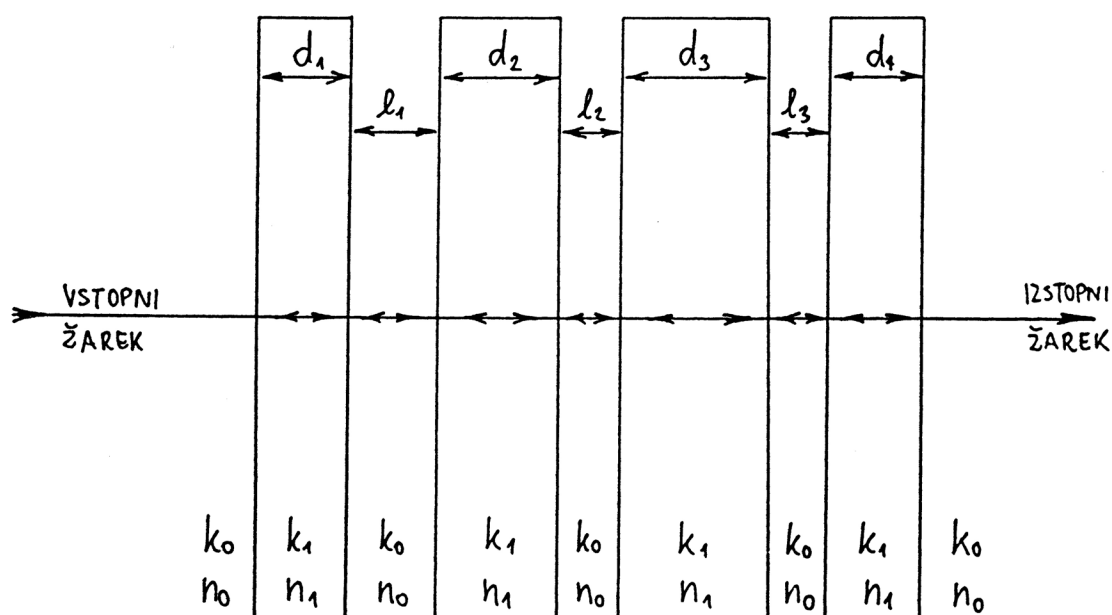
$$\varphi_1 + \varphi_2 + 2 \frac{n_1}{n_0} \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{1 - \frac{n_0^2}{n_1^2} \sin^2 \theta_0} = m 2\pi$$

Slika 7.1. – Prečna rezonanca v dielektrični ploščici.

Pogoj za prečno rezonanco ploščice ne pomeni nič drugega kot to, da se valovne fronte posameznih odbitih žarkov v isti smeri med sabo "ujamejo". Pri izpolnjenem pogoju za prečno rezonanco je prepuščeni žarek skozi ploščico

najmočnejši in celotni odbiti žarek od ploščice (ni narisano na sliki 7.1) najbolj oslabljen. Pri obratnem pogoju (dodaten fazni zasuk 180°) je seveda odbiti žarek najmočnejši in prepuščeni žarek najbolj oslabljen. V brezizgubni dielektrični ploščici seveda nikoli ne moremo imeti izgub oziroma pretvarjanja svetlobe v toploto.

Ker lomnega količnika snovi oziroma odbojnosti na mejah ploščice ne moremo večati preko določene meje, moramo uporabiti v ozkem situ debelejšo ploščico (d več valovnih dolžin). Takšno sito seveda nima ene same rezonance, pač pa celo vrsto rezonančnih frekvenc za različne m . Eno samo rezonančno frekvenco izsejemo naprimer tako, da sestavimo večplastno sito iz dielektričnih ploščic različnih debelin in na različnih razmikih, kot je to prikazano na sliki 7.2.



Slika 7.1. – Prečna rezonanca v dielektrični ploščici.

Končno lahko preostale neželene rezonančne frekvence, ki so razmeroma daleč proč od želene rezonance sita, izločimo tudi s povsem drugačnim sitom. Večslojnemu dielektričnemu situ lahko naprimer dodamo optično sito z barvilom oziroma ustrezno izberemo snovi, iz katerih izdelamo sito samo oziroma okna pred in/ali za sitom.

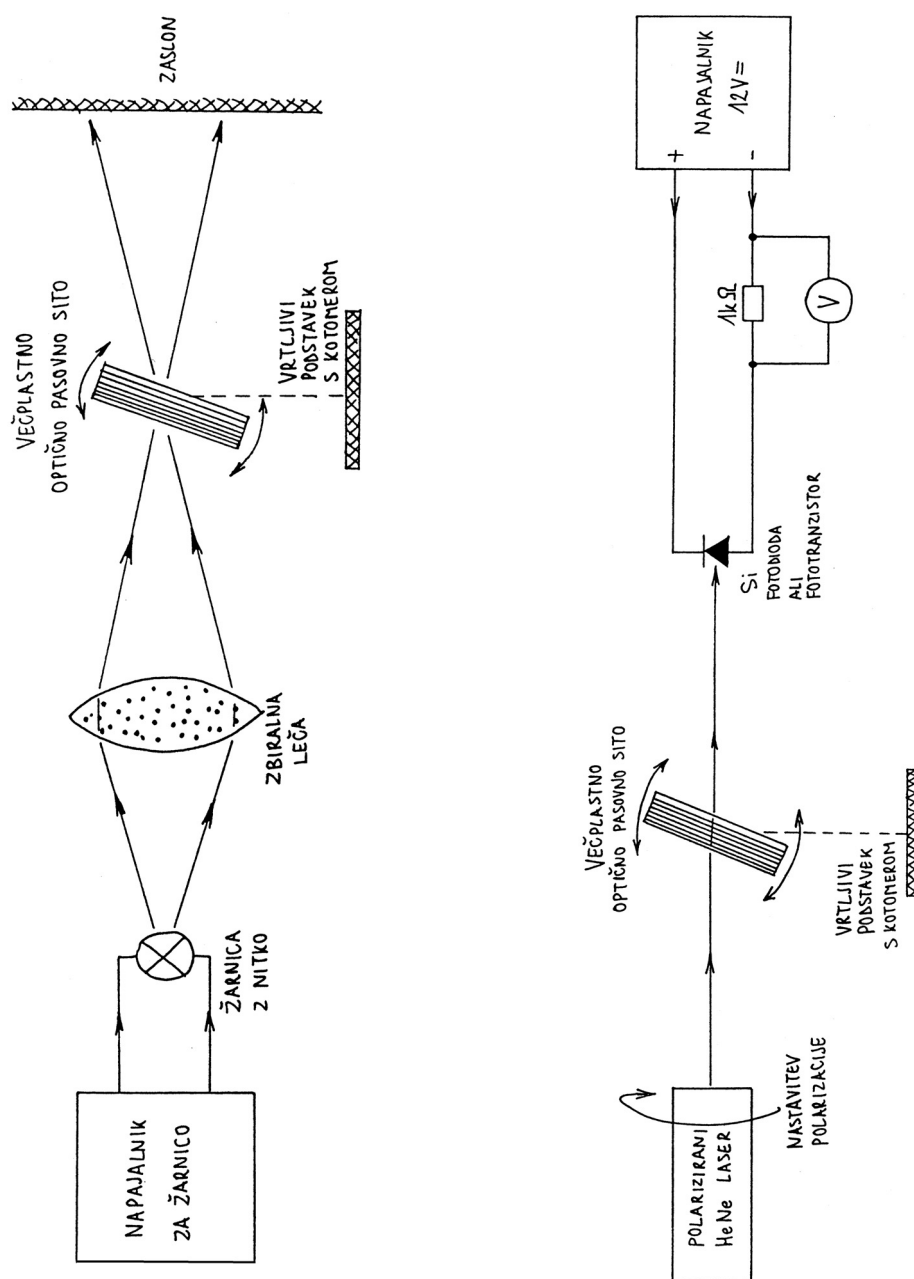
Vse rezonančne frekvence dielektrične ploščice in vseh večslojnih optičnih sit so seveda odvisne od vpadnega kota svetlobe, kot je to razvidno na sliki 7.1. Z naraščajočim vpadnim kotom se viša rezonančna frekvenca oziroma krajša valovna dolžina. Z nastavljanjem vpadnega kota lahko torej preprosto nastavljam delovno frekvenco sita v določenih mejah, pri tem pa ne smemo pozabiti na naraščajočo polarizacijsko odvisnost sita pri poševnem vpadu svetlobe na mejo dielektrikov!

7.2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- (1) Polariziran HeNe rdeč/oranžen/rumen laser z napajalnikom.
- (2) Večslojno optično pasovno sito za 632.8nm.
- (3) Vrtljivi podstavek za sito s kotomerom.
- (4) Si fotodiode/fototranzistor z napajalnikom.
- (5) Ampermeter ali voltmeter za merjenje toka fotodiode.
- (6) Izvor bele svetlobe (žarnica z nitko) z napajalnikom.
- (7) Zbiralno lečo na primernem podstavku.
- (8) Optično mizo s podstavki za sestavljanje vaje.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na sliki 7.3.



Slika 7.3. – Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov.

7.3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Vajo sestavimo na optični mizi tako, kot poteka žarek od izvora, HeNe laserja ali žarnice, do fotodiode ali zaslona. Če namestimo obe optični poti pod pravim kotom, lahko opravimo vse poskuse s preprostim zasukom optičnega sita. Pri tej vaji bomo v obeh slučajih opazovali odvisnost rezonančne frekvence sita od vpadnega kota svetlobe. V ta namen vgradimo sito na vrtljivi podstavek s kotomerom. Le-ta nam omogoči enostavno odčitavanje kota, pod katerim vpada svetloba na sito.

V vaji uporabljamo večslojno dielektrično pasovno sito, ki je izdelano za valovno dolžino helij-neonskega laserja 632.8nm (v praznem prostoru). Takšno pasovno sito se uporablja v sprejemnikih za HeNe svetlobo, da z njim izboljšamo razmerje signal/šum, kjer nam predstavlja šum dnevna svetloba oziroma svetloba ostalih virov v prostoru.

Frekvenčno pasovno širino sita ne določa laser, saj je svetloba helij-neonskega laserja izredno ozkopasovna in je valovna dolžina laserja tudi točno določena. Frekvenčno zelo ozko sito bi zato dalo še boljše razmerje signal/šum, vendar smo tu omejeni z območjem vpadnega kota svetlobe, ki ga mora sprejeti fotodetektor za sitom. Nenazadnje so pomembne tudi tolerance izdelave samega sita.

Frekvenčno odvisnost sita od vpadnega kota svetlobe si najlažje ogledamo z izvorom bele svetlobe (žarnica z nitko). S pomočjo zbiralne leče usmerimo svetlobo žarnice skozi sito in opazujemo prepuščeno svetlobo na zaslonu. Pri pravokotnem vpadu dobimo na zaslonu rdečo svetlobo, ki z naraščanjem vpadnega kota preide v rumeno in končno v zeleno/modrozeleno.

Bolj točno lahko seveda izmerimo sito s pomočjo polariziranega HeNe laserja kot izvora svetlobe in fotodiode kot detektorja. Najprej seveda pomerimo vstavitveno slabljenje sita, to je slabljenje sita pri pravokotnem vpadu svetlobe na površino sita. Nato sito počasi sučemo in merimo jakost prepuščene svetlobe HeNe laserja. Pri uporabi rumenega ali oranžnega HeNe laserja dobimo seveda maksimum prepuščene svetlobe in s tem najnižje vstavitveno slabljenje pri drugačnem vpadnem kotu.

7.4. Prikaz značilnih rezultatov

Ker je vsako večslojno dielektrično sito polarizacijsko odvisno, izmerimo odvisnost slabljenja sita od vpadnega kota za obe polarizaciji laserja: ko je ravnina polarizacije laserja vzporedna z osjo vrtenja sita in ko je nanjo pravokotna. Polarizacijo laserja nastavimo tako, da sučemo lasersko cev okoli svoje osi.

Pri sukanju sita pazimo tudi na to, da prepuščeni laserski žarek vedno vpada točno v sredino fotodetektorja. Če se žarek izmakne, takoj popravimo položaj detektorja. Pri vrtenju sita pazimo tudi na odbiti žarek. Ker je dielektrično sito skoraj brezizgubno, se večina svetlobe, ki ni bila prepuščena, odbije od sita in tako dobimo razmeroma močen odbiti žarek, ki naj ne bi zašel v oči!

Končni rezultat vaje je frekvenčna pasovna širina sita. V vaji sicer izmerimo vpadni kot, ko začne sito slabiti vpadni žarek in to za vsako polarizacijo posebej! S pomočjo izrazov na sliki 7.1. in ocene lomnega količnika stekla, iz katerega je izdelano sito, lahko določimo tudi frekvenčno pasovno širino sita oziroma pas valovnih dolžin, ki jih sito prepušča ob pravokotnem vpadu svetlobe. Upoštevamo, da je odziv sita simetričen okoli 632.8 nm.

7.5. Vprašanja in naloge vaje

1. Kaj opazimo na zaslonu, ko na optično sito posvetimo z belo svetlobo?
2. Določi vstavitveno slabljenje filtra pri maksimalni propustnosti.
3. Izmeri odvisnost slabljenja večplastnega pasovnega sita od kota vpadne rdeče svetlobe za obe polarizaciji.
4. Izmeri odvisnost slabljenja večplastnega pasovnega sita od kota vpadne rumene svetlobe za obe polarizaciji.
5. V čem se razlikujeta grafa odvisnosti pri vpadni rdeči in rumeni svetlobi?

kot zasuka [°]	rdeči laser		rumeni laser	
	TM	TE	TM	TE
- 48				
- 44				
- 40				
- 36				
- 32				
- 28				
- 24				
- 20				
- 16				
- 12				
- 8				
- 4				
0				
4				
8				
12				
16				
20				
24				
28				
32				
36				
40				
44				
46				
48				