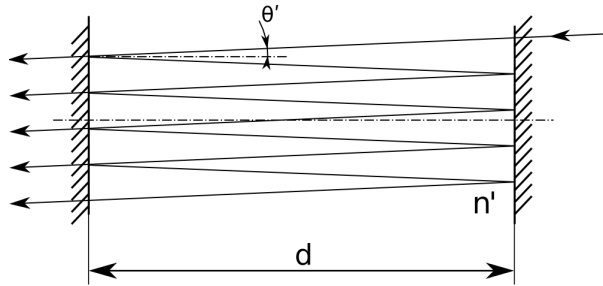


Úloha č. 4 - Dvouvlňová a více vlnová interference

1 Úvod

1.1 Vícevlňová interference (*FabryPerotův interferometr*)

FabryPerotův spektrální analyzátor (interferometr) je vhodně definované uspořádání konstrukčního měřicího zařízení, využívající vícenásobné interference pro měření spektrálního průběhu světla. Příklad FP interferometru s rovinnými zrcadly viz. obr. 1.



Obrázek 1:

Podstata funkce spočívá ve vícevlňové interferenci, ke které dochází díky vícenásobné reprodukci tvaru vlnoplochy a fázové struktury pole (v násobku základní fáze) po odrazech na zrcadlech rezonátoru.

Pro pochopení se nejčastěji vychází z vícevlňové interference rovinných (nekonečných) vln při odrazech na dokonale paralelní vrstvě.

Je třeba si uvědomit, že vícevlňová interference (např. na zmíněné paralelní vrstvě) obecně sice vede (proti interferenci dvouvlňové) k podstatně lepší čitelnosti výsledného interferenčního stavu (interferenční píky jsou „ostřejší“), *avšak zde nevzniká fázový spád* - (vrstva je paralelní, fáze jsou stále v násobku definovaného fázového stavu vlnoploch). Celková transmitance paralelní vrstvy v závislosti na fázovém zpoždění (resp. tloušťce vrstvy, vlnové délce) je popsitelná Airyovým vztahem (viz též obr. 2):

$$T_c = \frac{1}{1 + Q \sin^2(\psi/2)} \quad (1)$$

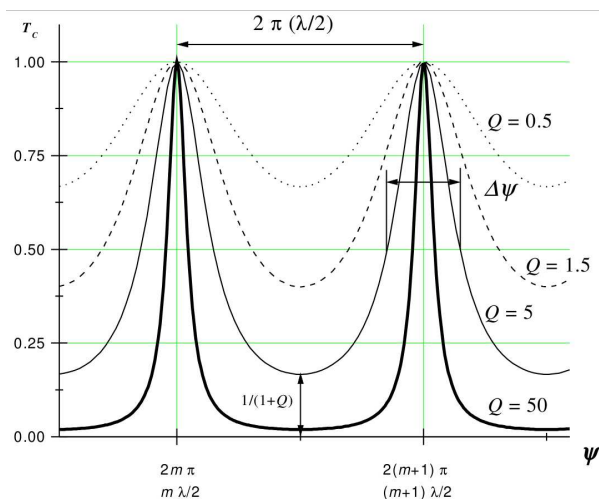
kde Q je *činitel jakosti reflexní pp vrstvy* (je snahou tuto hodnotu učinit co nejvyšší):

$$Q = \frac{4R}{1 - R^2} \quad (2)$$

Veličina ψ je fázová hodnota základního zpoždění („základní harmonická“ - zde vlastně konstanta), mezi interferujícími vlnami. U paralelní vrstvy pro ni platí stejný vztah jako u dvouvlňové interference, daný:

$$\psi = 2k_0 n' d \cos \theta' \quad (3)$$

Je dobré si všimnout, že tento vztah obsahuje jen *hodnoty vlastní vrstvy* (resp. zde dutiny interferometru)!! V našem případě hodnota úhlu dopadu θ' v prostředí je rovná 0, index lomu je jednotkový, hodnota tloušťky prostředí je d . Vlnové číslo $k_0 = 2\pi/\lambda$ je hodnota ve vakuu. *Fázový spád veličiny ψ* , nezbytný pro měření, je ve FP interferometru vytvářen piezomechanismem, který rozmitá hodnotu d . Pro příslušnou vlnovou délku λ zdroje, pak systém zarezonuje. Použijeme-li tedy v experimentu *jedinou vlnovou délku*, pak vhodné d , kdy se vytváří rezonance v systému, je u pp desky právě rovné násobku délky $\lambda/2$. Pásmo mezi opakováním rezonančního píku nazýváme **vlnný spektrální rozsah**.



Obrázek 2:

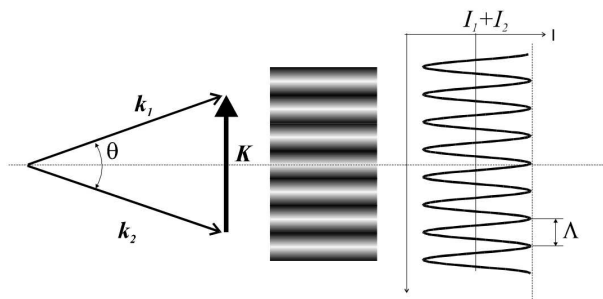
Volný spektrální rozsah u pp vrstvy je dle (1) vytvářen fázovým spádem rozdílu π , čemuž odpovídá optická dráha hodnoty $\lambda/2$. Tato délka je však nevhodná pro stanovení fázového spádu (závislost na λ se vykrátí s λ v k_0). Nejlépe je uvádět *volný spektrální rozsah v hodnotě frekvencí* - tedy stavu, kdy se změnou frekvence o volný spektrální rozsah opakuje okrajová podmínka na hranicích. Tento stav je obecnější, než případ pp vrstvy. Pro konfokální uspořádání rezonátoru je frekvenční vzdálenost vedlejších píků dána číslem $c_0/4d$ (kde d je délka dutiny rezonátoru FP interferometru, c_0 je rychlost světla). U pp vrstvy je tato hodnota rovna $c_0/2d$. Hodnota $\lambda/2$ není tedy pro neparalelní vrstvu směrodatná - je lépe užít frekvenčního rozdílu.

Relativní parametr (tedy bezrozměrná hodnota) poměru opakující se frekvence (volného spektrálního rozsahu) ku frekvenční šířce čáry rezonančního píku (měřené na polovině maximální hodnoty!!) se nazývá **finessy**, neboli *jemnost proužků*:

$$F = \frac{\text{volný spektrální rozsah}}{\text{šířka jednoho peaku}} \quad (4)$$

Je logické, že spektrální šířka jednoho rezonančního píku bude klesat (tedy F vzrůstá) s růstem hodnoty Q . To souvisí s reflektancí zrcadel rezonátoru. Parametr finessy lze stanovit i experimentálně měřením na osciloskopu (praktické hodnoty F se pohybují v rozměru stovek).

1.2 Dvouvlňová interference při měření na pp skle



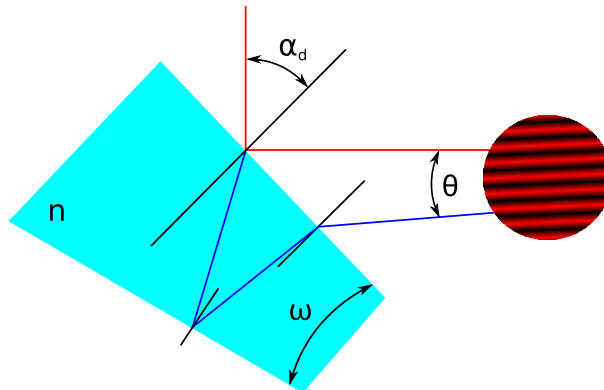
Obrázek 3:

Základní vztah pro rozdíl harmonicky modulovaných interferenčních ploch je dán vlnovou délkou interferujícího světla a úhlem interferujících ploch (viz obr. 3):

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2n \sin(\theta/2)} \quad (5)$$

Obě interferující vlny zde mají fázový spád daný vzájemným úhlem θ . Pokud jsou obě vlny paralelní (úhel $\theta = 0$), jak vyplývá ze vztahu (5), interferují s „nekonečným“ proužkem - tedy s definovanou stejnou fází, a tudíž žádné interferenční proužky nemohou být v konečném prostoru vidět. Proužky se objevují jen v případě porušení konstantnosti některého z parametrů rovnice (5) (tj. mezi vlnami je nenulový úhel). *Narušení tloušťky vrstvy d* (poruchy v rovinnosti nebo klínovitost vrstvy) se tedy projeví vznikem proužků v interferenčním obrazci.

Přesto, že se jedná o povrchy bez reflexního pokrytí, s výhodou užíváme reflexe od povrchu (nikoliv transmise), neboť obě interferující vlny jsou stejně intenzivní a kontrast interferenčních proužků je zhruba roven 1.



Obrázek 4:

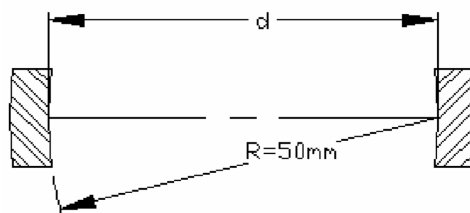
Proces interference od klínovitého rozhraní či paralelní desky můžeme přiblížit jako *interferenci dvou rovinných vln* (tj. 2 vln, které vzniknou zrcadlením jedné vlny na různých rozhraních). Úhel mezi vlnami (a tedy rozteč proužků) závisí na úhlu dopadu a na klínovitosti a materiálu desky. Při použití kolimované vlny je rozteč proužků nezávislá na vzdálenosti od rozhraní (obr. 4). V našem případě budeme uvažovat směr detekce proužků kolmo na směr vlny dopadající na klín.

1.3 Návod k použití FP interferometru Thorlabs SA2005A:

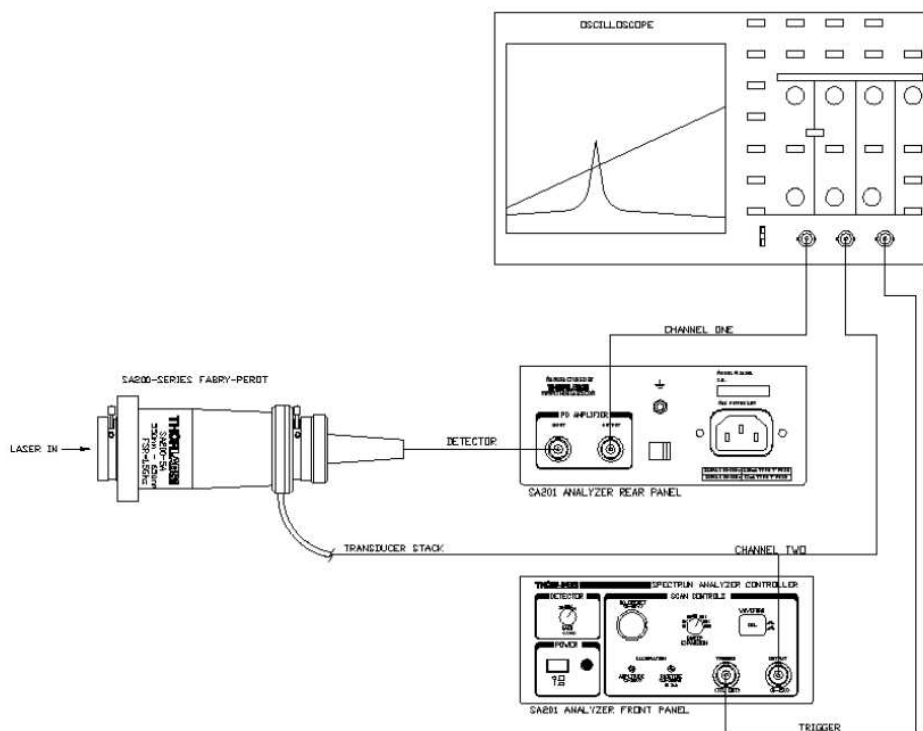
Princip funkce:

S jedním ze zrcadel interferometru je možno pohybovat pomocí piezoaktuátoru. Napětím přiváděným na piezoelement je tak možné měnit v určitém rozsahu velikost rezonanční dutiny. Strmostí pily přiváděného napětí lze měnit rozsah „rozkmitu“ zrcátka a změnou absolutní hodnoty napětí pak hodnotu délky rezonátoru, kolem které zrcátko kmitá.

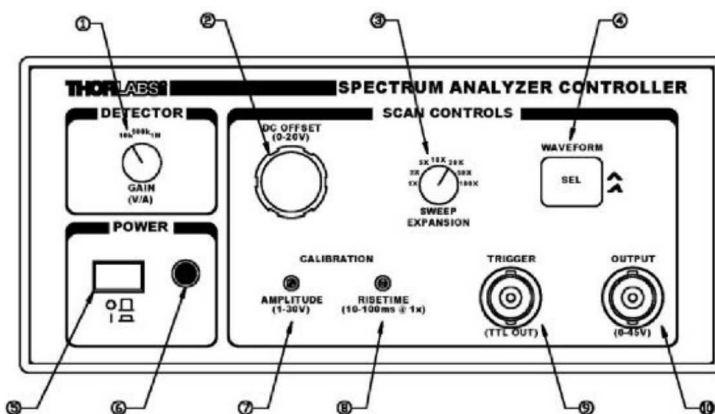
- Rozsah použitelných vlnových délek 252650 nm
- Volný spektrální rozsah FSR = 1,5GHz
- Jemnost proužků $F = 329$



Obrázek 5: Konfigurace měřící dutiny



Obrázek 6: Schéma zapojení řídicí jednotky SA201 a osciloskopu



Obrázek 7: Ovládání řídicí jednotky FP interferometru: 1-zesílení výstupu z detektoru, 2-změna středního napětí řídicí pily, 3-násobky periody kmitání zrcátka, 4-tvar ovládacího napětí (pila nebo trojúhelník), 5-vypínač, 6-LED, 7-nastavení strmosti pily, 8-nastavení periody kmitání zrcátka

2 Zadání úlohy:

2.1 Cíle:

1. *Měření vícevlňové interference:* seznámení se s Fabry Perotovým interferometrem, seřízení optimálního režimu pro jednomódový laser a měření finessy na osciloskopu; měření vícemódového laseru a mezimódových vzdáleností u HeNe laseru a výpočet délky rezonátoru laseru.
2. *Dvouvlňová interference při měření interferenčního obrazu na reflexi u pp skla:* seznámení se s ideou kvalitativního měření rovinnosti skla při divergující vlně. Měření paralelity velmi slabého klínu.

2.2 Pomůcky:

Zdroje záření (NdYAG $\lambda = 532nm$, HeNe $\lambda = 632,8nm$), Fabry Perotův interferometr, osciloskop, paralelní desky, klín, držáčky, stojánky, pomocná optika, stínítko

2.3 Postup měření 1:

1. Podle schématu zapojte řídicí jednotku Fabry Perotova interferometru a osciloskop a zapněte buzení interferometru. Jako první zdroj pro měření použijte jednomódový laser NdYAG. Nastavení zrcadel do osy proveďte následujícím způsobem. Z interferometru odšroubujte detektor, vstupní irisovou clonu začloňte a výstupní irisovou clonu otevřete. K nasměrování svazku do interferometru použijte justovatelné zrcátko. Na stínítku za interferometrem pozorujte svazky odražené od zrcadel a pomocí justážních šroubů na interferometru posuňte stopy svazků na stínítku tak, aby se vzájemně překrývaly.
2. Začloňte výstupní irisovou clonu a našroubujte detektor. Pozorujte výstup na osciloskopu. Pomocí justážních šroubů na interferometru doladte interferometr tak, abyste maximalizovali signál.
3. Pomocí řídicí jednotky interferometru nastavte parametry řídicí pily piezoaktuátoru tak, aby v rámci jedné periody pohybu pieza byly dva rezonanční píky.
4. Zjistěte poměr volného spektrálního rozsahu a pološířky čáry. Vypočtete jemnost rezonátoru.
5. Vyměňte zdroj za HeNe laser a opakujte kroky 1 - 3.
6. Ze změřené mezimódové vzdálenosti vypočtete délku rezonátoru laseru. Uvažujte plan-paralelní rezonátor.
7. Diskutujte souvislost počtu módů s délkou rezonanční trubice laseru.

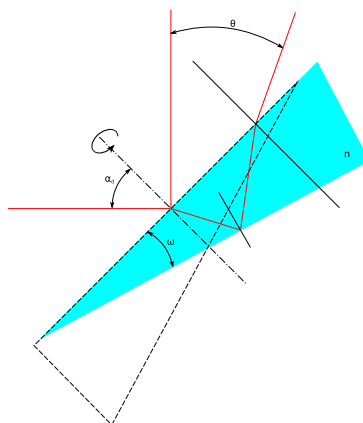
2.4 Postup měření 2:

1. Pomocí laseru, nastavitelného zrcátka, objektivu, pinhole a spojné čočky vytvořte rovinnou vlnu.
2. Do svazku vložte klín. Určete ve kterém směru je gradient tloušťky a nastavte tak, aby vrchol klínu ležel v rovině svazku. Úhel dopadu vlny na klín nastavte 45°
3. Zaznamenejte interferenční obrazec na stínítku, určete rozteč proužků a vypočtete klínovitost.
4. Otočte klín o 180° a porovnejte rozteč proužků. Uveďte důvody možných rozdílů.

5. Ze svazku vyjměte kolimační čočku. Jak se změnil interferenční obrazec?
6. Místo klínu vkládejte do svazku vzorky skel. Diskutujte kvalitu povrchů a jejich paralelitu. Pozorujte rozdíly v interferenčních obrazcích v závislosti na vzdálenosti vzorku od bodového zdroje.

3 Požadované výsledky:

1. Uveďte vypočtenou jemnost proužků pro NdYag.
2. Vypočtete délku rezonátoru Hene laseru.
3. Uveďte směr klínovitosti a vypočtený úhel klínu.
4. Pro případ $\alpha_d = 45^\circ$, $n_{skla} = 1.5$ a $\omega = 0.01^\circ$ určete jak se liší rozteč proužků při otočení klínu o 180° (Viz. obr. 8)



Obrázek 8:

5. Diskutujte měření paralelity skel (vliv vzdálenosti od zdroje, tvaru vlnoplochy, tvar proužků,...)

4 Reference:

Reference

- [2] B.E.A.Saleh, M.C.Teich - "Fundamentals of Photonics", 2007 (kapitola 10)
- [2] P.Fiala, I.Richter - "Fyzikální optika", skriptum, ČVUT, 2005 (kapitola 6)
- [3] www.thorlabs.com/Thorcat/6700/6760D02.pdf
- [4] www.thorlabs.com/Thorcat/6600/6679d02.pdf