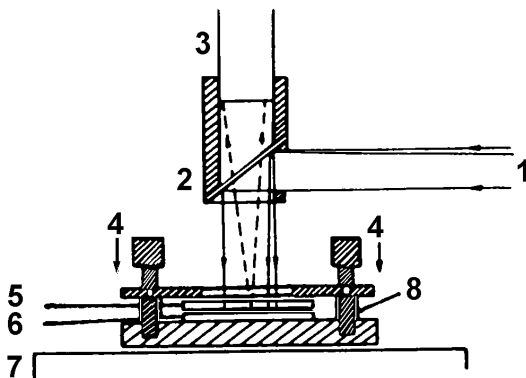


### 4.3 Jednoduché aplikace interferenčních jevů

#### Teoretická část

Jednou z nejužívanějších metod měření tloušťky tenkých vrstev (pro tloušťky v intervalu  $10^1 - 10^2$  nm) je interferometrická metoda podle Tolanského.



Obr. 4.3–1 Schéma Tolanského metody

- 1 – zdroj monochromatického světla (Na výbojka)
- 2 – dělič svazku
- 3 – objektiv mikroskopu
- 4 – stavěcí šrouby mechanického držáku
- 5 – polopropustné zrcadlo
- 6 – vzorek
- 7 – stolek mikroskopu
- 8 – šrouby pro nastavení polopropustného zrcadla a vzorku

Metoda je založena na vícepraskové interferenci světla na vzduchové mezeře vytvořené mezi měřeným vzorkem a polopropustným zrcadlem. Měřený vzorek je připraven tak, že na části podložky je měřená vrstva odstraněna (např. vrypem). Pak se tento systém napařením pokryje nepropustnou (krycí) vrstvou kovu s vysokou odrazivostí (např. Al, Ag). Předpokládá se, že krycí vrstva dokonale reprodukuje vryp. Mezi takto připraveným vzorkem a polopropustným zrcadlem se citlivým mechanickým zařízením vytvoří vzduchová klínová mezera s malým úhlem klínu. Celý tento systém se pak osvětlí monochromatickým světlem s vlnovou délkou  $\lambda$ . Schematicky je optické uspořádání ukázáno na obr. 4.3–1 s mechanickým držákem vzorku umístěným na stolku mikroskopu.

Detailní pohled na zrcadlo, klínovou vrstvu vzduchu a vzorek s vrypem je ukázán na obr. 4.3–2. Nechť na systém znázorněný na obr. 4.3–2 dopadá téměř kolmo rovnoběžný svazek paprsků monochromatického světla. V důsledku interference na vzduchové mezeře by se v zorném poli mikroskopu za předpokladu, že by v měřené vrstvě vryp nebyl, objevil systém rovnoběžných tmavých proužků v těch místech,

kde je splněna podmínka minima interference. Tedy např. pro tloušťky  $d$  a  $d + \Delta d$  vzduchového klínu splňující podmínky

$$2d = k\lambda, \quad (1)$$

$$2(d + \Delta d) = (k + 1)\lambda, \quad (2)$$

kde  $k$  je interferenční řád. Z rovnic (1) a (2) dostáváme

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2}. \quad (3)$$

Posoudíme nyní situaci, je-li v uvažovaném systému vyznačen vryp. Vzhledem k tomu, že studujeme případ proužků stejné tloušťky, bude zřejmě platit (viz obr. 4.3-2)

$$2(d + \Delta d) = (k + 1)\lambda, \quad (4)$$

$$2(d + \varepsilon + t) = (k + 1)\lambda, \quad (5)$$

kde  $t$  je tloušťka vrstvy, kterou máme stanovit. Ze vztahů (4) a (5) plyne

$$t = \Delta d - \varepsilon \quad (6)$$

a z podobnosti trojúhelníků na obr. 4.3-2 vyplývá

$$\frac{\varepsilon}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta d}{x_2},$$

tedy

$$\varepsilon = \Delta d \frac{x_2 - x_1}{x_2}. \quad (7)$$

Dosadíme-li nyní vztah (7) do vztahu (6), dostaneme s uvážením (3)

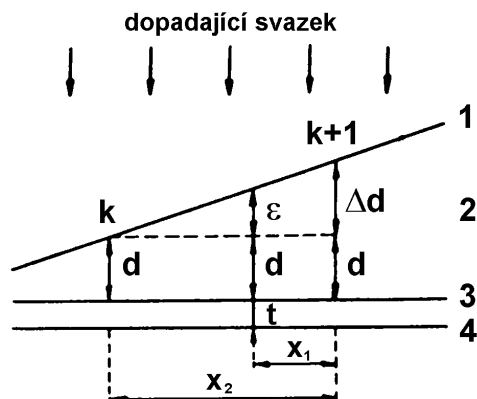
$$t = \frac{x_1}{x_2} \frac{\lambda}{2}, \quad (8)$$

což je hledaný výraz pro určení tloušťky vrstvy. V zorném poli mikroskopu se objeví systém interferenčních proužků (obr. 4.3-3a), kde úseky  $x_1$  a  $x_2$  jsou jednoduše měřitelné např. odečítacím okulárem. Schematický řez měřenou vrstvou je na obr. 4.3-3b.

**Poznámka k měření tloušťky tenké vrstvy**

Určení parametru  $t$  podle vztahu (8) je jednoznačné pouze pro případ  $t < \lambda/2$ . Je-li  $t > \lambda/2$ , je úloha nejednoznačná a měření je třeba provádět nejméně pro dvě vlnové délky. Přesnost uvedené metody je uváděna  $\pm (1-3)$  nm a závisí zejména na:

- a) odrazivostech polopropustného zrcadla i krycí vrstvy. Požaduje se poměrně vysoká odrazivost obou prvků, přičemž odrazivost krycí vrstvy musí být vyšší než odrazivost polopropustného zrcadla, abychom dosáhli dobrého kontrastu interferenčních proužků.



Obr. 4.3–2 K výkladu vzniku interferenčních proužků na klínové vzduchové mezeře.

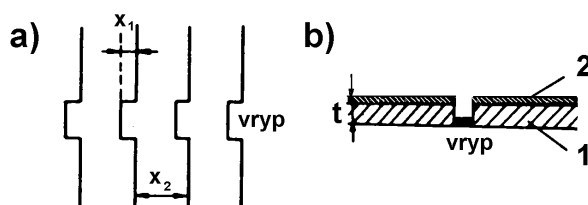
1 – polopropustné zrcadlo

2 – vzduchová mezera (index lomu  $n = 1$ )

3 – horní plocha vrypu

4 – spodní plocha vrypu

Je znázorněn interferenční řád  $k$ -tý a  $(k + 1)$ -ní.



Obr. 4.3–3 Ke stanovení tloušťky tenké vrstvy v monochromatickém světle.

a) Obraz měřené vrstvy opatřené vrypem v zorném poli mikroskopu.

b) Schematické znázornění této vrstvy:

1 – měřená vrstva s tloušťkou  $t$

2 – krycí napařená vrstva reprodukcující vrstvu s vrypem.

b) monochromatickosti dopadajícího světla; (obvykle je používán sodíkový dublet).

c) povrchové drsnosti polopropustného zrcadla i krycí vrstvy.

### Měření Newtonových kroužků

Významnou úlohu zaujímají mezi interferenčními jevy Newtonovy kroužky, které jsou způsobeny interferencí světla na tenké vzduchové vrstvě vznikající mezi dvěma dotýkajícími se povrchy. Z nich může být jeden nebo oba povrchy zakřivené. V našem případě realizujeme Newtonovy kroužky tak, že položíme na rovinnou skleněnou desku čočku o poloměru křivosti  $R$ . Mezi čočkou a deskou vzniká tenká vzduchová vrstva, jejíž tloušťka se spojitě mění, takže místa o stejné tloušťce vyplňují kružnice

se středem v bodě dotyku čočky s deskou. Jev je vyšetřován ve světle odraženém, paprsek dopadající kolmo se odráží na vzduchové vrstvě jako v případě klínu. Pro interferenci má význam světlo odražené na spodní ploše čočky a na horní ploše plan-paralelní desky. Vzhledem k uvedené souměrnosti vzduchové vrstvy podle středu jsou interferenční obrazce kružnice. Pro měření je vhodné využít tmavých kroužků, jejichž průměry určíme přesněji než pro kroužky světlé. Pro poloměr  $\varrho_k$  kroužku  $k$ -tého řádu ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ) lze odvodit podmínku [1]

$$\frac{\varrho_k^2}{R} = k\lambda. \quad (9)$$

Tento vztah platí pouze v případě dokonalého kontaktu čočky s deskou. To lze v praxi těžko zaručit, neboť i při dobře očištěných plochách mohou drobné částice prachu způsobit, že vzdálenost  $d$  čočky od desky bude nenulová. Místo vztahu (9) pak platí

$$\frac{\varrho_k^2}{R} + d = k\lambda. \quad (10)$$

Chceme-li z rovnice (10) určit dvě neznámé veličiny,  $R$  i  $d$ , musíme znát poloměry alespoň dvou různých kroužků  $\varrho_k, \varrho_n$ . Ze známé vlnové délky  $\lambda$  a z rozdílu řádů  $k - n$  obou kroužků lze pak určit poloměr křivosti čočky  $R$  jako

$$R = \frac{\varrho_k^2 - \varrho_n^2}{\lambda(k - n)}. \quad (11)$$

Při praktickém provedení proměříme okulárním mikrometrem průměry všech viditelných tmavých kroužků. K určení poloměru křivosti čočky  $R$  užíjte vhodného statistického zpracování, např. metody postupných měření nebo lineární regrese metodou nejmenších čtverců. Určete oba poloměry křivosti čočky!

#### Literatura

- [1] V. Petržílka: Fysikální optika, Přírodovědecké vydavatelství, Praha 1952.