

Datum: 1.12.2004

Vypracoval: Tomáš Henych

Teplota: 23,1 °C

Tlak: 982 mbar

Vlhkost: 33 %

Název: Měření tloušťky tenkých vrstev Tolanského metodou

Úkol:

- V zorném poli interferenčního mikroskopu nastavte 5 – 10 interferenčních proužků.
- Proměřte interferenční obrazec při různém počtu proužků v zorném poli.
- Určete tloušťku vrstvy na různých částech vzorku nebo u několika vzorků.

Průchod světla planparalelní deskou a hranolem

- Proveďte justaci přístroje a určete závislost posuvu vystupujícího paprsku z planparalelní desky na úhlu dopadu. Určete index lomu desky.
- Proveďte justaci hranolu, naměřte závislost deviace na úhlu dopadu a ověřte souhlas s vypočítanou závislostí.

Teorie úlohy:

Metoda je založena na vícepaprskové interferenci světla na vzduchové mezeře vytvořené mezi měřeným vzorkem a polopropustným zrcadlem. Část vzorku obsahuje dvě vrstvy, jejichž tloušťku chceme zjistit, celý vzorek je pak pokryt vysokoodrazivou vrstvou a je osvětlen monochromatickým světlem s vlnovou délkou λ . Paprsek odražený od zrcadla interferuje s paprskem odraženým od vzorku a v zorném poli mikroskopu spatříme systém tmavých rovnoběžných proužků, pokud je splněna podmínka minima interference. V místě, kde jsou na sobě dvě vrstvy budeme pozorovat posun interferenčních čar. Tloušťku vrstvy potom vypočteme jako $t = \frac{x_1}{x_2} \frac{\lambda}{2}$, kde x_1 je vzdálenost interferenční čáry od její posunuté části a x_2 je vzdálenost dvou sousedních interferenčních čar.

Průchod světla planparalelní deskou a hranolem

ad a) Při průchodu světla planparalelní deskou dochází k posunu vystupujícího paprsku a vstupující a vystupující paprsek jsou rovnoběžné. Posun paprsku x závisí na úhlu dopadu α , tloušťce desky d

a indexu lomu n podle vztahu $x = \left(1 - \frac{n_0 \cos \alpha}{\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}}\right) d \sin \alpha$. Sestrojíme graf $x = f(\alpha)$. Index

lomu desky vypočteme jako $n = n_0 \sqrt{(\sin^2 \alpha + \left(1 - \frac{x}{d \sin \alpha}\right)^{-2} \cos^2 \alpha)}$.

ad b) Při průchodu světla hranolem se světlo odchyluje o úhel δ , který nazýváme deviace. Ta závisí na úhlu dopadu α , indexu lomu n a lámavém úhlu hranolu ω takto:

$\delta = \alpha - \omega + \arcsin \left[\sin \omega \sqrt{\left(\frac{n}{n_0}\right)^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \omega \sin \alpha \right]$. Index lomu vypočteme z $n = \frac{\sin\left(\frac{\omega}{2} + \frac{\delta_m}{2}\right)}{\sin \frac{\omega}{2}}$

Výsledky:

n	$\frac{d_1}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{d_2}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{x_1}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{x_2}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{t}{\text{nm}}$
1	0,52	0,20	0,32	0,83	113,5
2	1,34	1,03	0,31	0,84	108,7
3	2,19	1,87	0,32	0,83	113,5
4	3,06	2,70	0,36	0,87	121,9
5	3,93	3,57	0,36	0,84	126,2
6	4,75	4,41	0,34	0,84	119,2
7	5,59	5,25	0,34	0,84	119,2
8	6,40	6,09	0,31	0,87	104,9
9	7,30	6,96	0,34	0,87	115,1
10		7,83			

$$x_1^n = d_1^n - d_2^n \quad x_2^n = d_2^{n+1} - d_2^n$$

$$t = (115,8 \pm 2,2) \text{ nm}$$

n	$\frac{d_1}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{d_2}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{x_1}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{x_2}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{t}{\text{nm}}$
1	0,92	0,65	0,27	0,79	100,7
2	1,70	1,44	0,26	0,82	93,4
3	2,48	2,26	0,22	0,78	83,1
4	3,25	3,04	0,21	0,82	75,4
5	4,08	3,86	0,22	0,79	82,0
6	4,86	4,65	0,21	0,79	78,3
7	5,63	5,44	0,19	0,80	69,9
8	6,44	6,24	0,20	0,80	73,6
9	7,26	7,04	0,22	0,80	81,0
10		7,84			

n	$\frac{d_1}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{d_2}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{x_1}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{x_2}{10^{-1} \text{ mm}}$	$\frac{t}{\text{nm}}$
1	0,81	0,51	0,30	0,84	105,2
2	1,61	1,35	0,26	0,81	94,5
3	2,42	2,16	0,26	0,81	94,5
4	3,22	2,97	0,25	0,79	93,2
5	4,02	3,76	0,26	0,82	93,4
6	4,85	4,58	0,27	0,84	94,7
7	5,66	5,42	0,24	0,78	90,6
8	6,45	6,20	0,25	0,82	89,8
9	7,25	7,02	0,23	0,84	80,6
10		7,86			

$$t = (81,9 \pm 3,2) \text{ nm}$$

$$t = (92,9 \pm 2,1) \text{ nm}$$

ad a)

k	$\frac{ \alpha - \alpha_0 }{\circ}$	$\frac{x}{\text{mm}}$	n	$\frac{x_v}{\text{mm}}$
1	4,82	0,61	1,55	0,58
2	9,85	1,25	1,55	1,20
3	14,82	1,87	1,54	1,83
4	19,82	2,51	1,53	2,49
5	24,82	3,22	1,52	3,20
6	29,82	4,00	1,53	3,97
7	34,82	4,84	1,53	4,80
8	39,82	5,74	1,52	5,71
9	44,82	6,78	1,53	6,72
10	49,82	7,86	1,52	7,84
11	54,82	8,09	1,40	9,06

$$\alpha_0 = 0^\circ 11'$$

$$n = (1,52 \pm 0,01)$$

$x_v, \delta_v \dots$ vypočtené hodnoty

ad b)

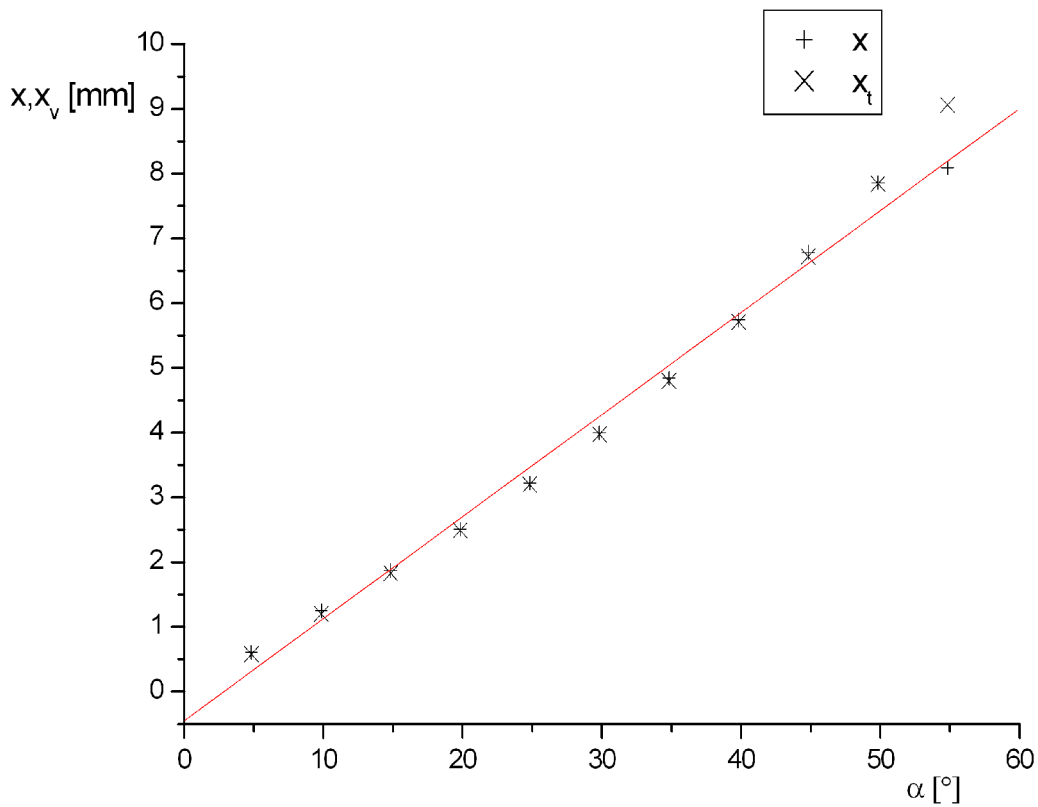
k	$\frac{ \alpha - \alpha_0 }{\circ}$	$\frac{ \delta - \delta_0 }{\circ}$	$\frac{\delta_v}{\circ}$
1	38	54,20	56,67
2	41	50,12	51,95
3	44	48,33	49,58
4	47	47,43	48,22
5	50	47,23	47,49
6	53	47,53	47,23
7	56	48,15	47,33
8	59	49,18	47,74
9	62	50,70	48,42
10	65	52,41	49,37
11	68	54,78	50,55
12	71	54,84	51,98

$$\omega = 60^\circ$$

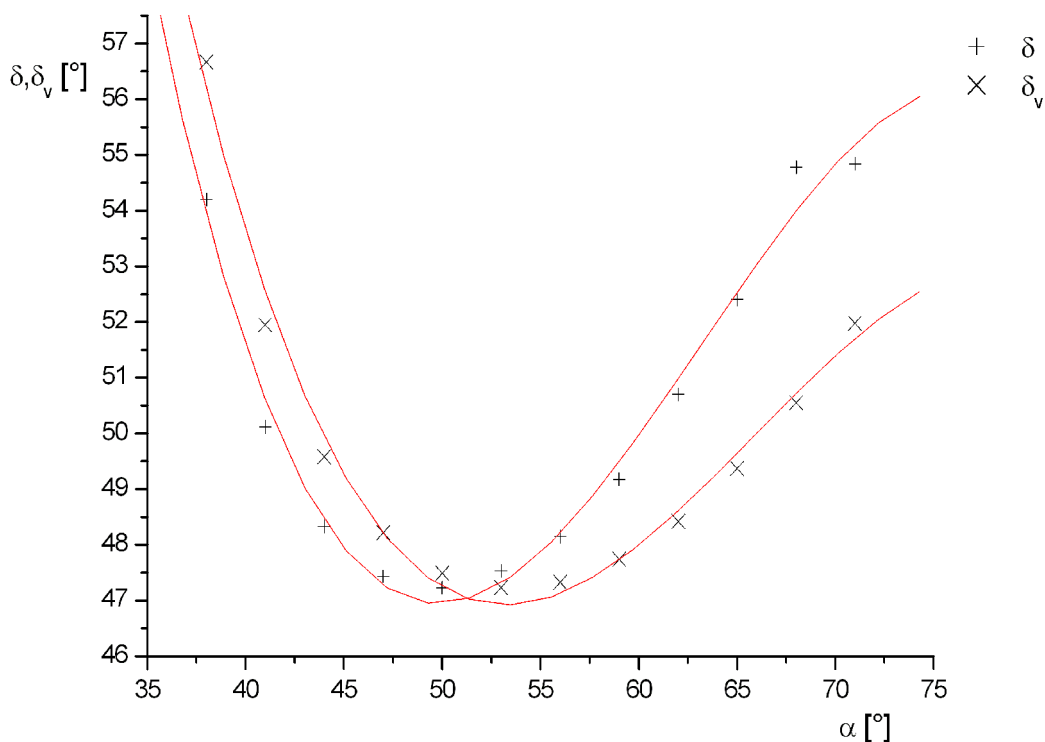
$$\delta_m = (47,23 \pm 0,2)^\circ$$

$$n = (1,610 \pm 0,002)$$

$$\delta_0 = 279,783^\circ$$



Graf 1: $x=f(\alpha)$



Graf 2: $\delta = f(\alpha)$

Závěr:

Chyba naměřených hodnot tloušťky tenké vrstvy je poměrně velká – u jednoho měření dokonce 4%. Může být způsobena nepřesným odečítáním vzdáleností interferenčních čar či špatným nastavením polopropustného zrcátka (čáry nebyly kolmé k posunu odečítacího kříže). U planparalelní desky se naměřené hodnoty od vypočtených liší jen málo, u hranolu je tato chyba větší. Je způsobena nepřesným určením maxima fotonového proudy a tedy úhlu vystupujícího paprsku.