

Měření charakterizace profilu a tloušťky vrstev optickou metodou – [CH]

(Zdeněk Slouka, Dalimil Šnita)

1. Úvod

Tloušťku vzorků materiálů lze měřit pomocí mechanických měřidel, jako je posuvné měřidlo nebo mikrometr. Jejich prostorové rozlišení je však velmi limitované, nelze měřit vrstev vícevrstevných materiálů, a navíc může dojít mechanickému poškození vzorku. Pro takové měření lze využít metodu konfokálního měření chromatických aberací.

2. Teorie

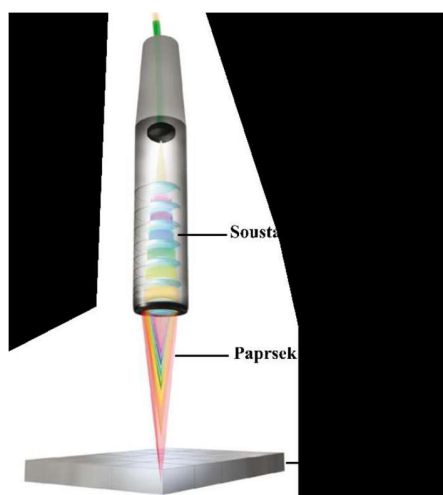
Chromatická aberace je vlastnost nekorigovaných optických čoček, která je dána závislostí indexu lomu materiálu čočky na vlnové délce procházejícího světla. Průchodem původně bílého světla čočkou vykazující chromatickou aberaci dochází k jeho rozkladu, následkem čehož každé vlnové délce poté přísluší jiná ohnisková vzdálenost. Tento jev má stejnou fyzikální podstatu jako rozklad světla na hranolu, tzn. dochází k disperzi světla. U čoček používaných ke snímání obrázků se tato vlastnost projeví jako barevné lemování ostrých přechodů mezi stínem a světlem. Z tohoto důvodu je tato vlastnost nechtěná a označuje se jako chromatická vada nebo barevná vada. Korekce chromatické aberace se u optických čoček nejčastěji provádí kombinací s dalším optickým prvkem, který danou vadu koriguje (nejčastěji tak, aby červená a modrá složka světla měla stejné ohnisko).

K disperzi světla dochází na fázových rozhraních, která jsou tvořena fázemi o rozdílném indexu lomu. Přechod světla fázovým rozhraním je popsán Snellovým zákonem, který je znám ve tvaru $\sin \theta_1 n_1 = \sin \theta_2 n_2$, kde θ_1 je úhel mezi dopadajícím paprskem a kolmicí vedenou na fázové rozhraní v místě dopadu světla, θ_2 je úhel mezi prošlým paprskem a kolmicí vedenou na fázové rozhraní, n_1 a n_2 jsou indexy lomu příslušných fází. Index lomu je definován jako poměr fázové rychlosti světla v daném prostředí vůči rychlosti světla ve vakuu ($n=v/c$) a pro většinu transparentních materiálů klesá se zvyšující se vlnovou délkou.

Zařízení k měření tloušťky materiálů pomocí chromatické aberace se skládá ze senzoru obsahující soustavou optických čoček a řídicí jednotky, která vyhodnocuje data. Při průchodu polychromatického bílého světla soustavou optických čoček dochází k žádané disperzi světla na monochromatické pomoci řízené chromatické aberace (viz obr. 1). Monochromatické světlo je pak fokusováno do příslušného ohniska, jehož vzdálenost je dána vlnovou délkou monochromatického světla, přičemž platí, že modrá složka světla má ohniskovou vzdálenost nejkratší a červená složka nejdelší. Každý takový sensor je kalibrován tak, aby ohniskové vzdálenosti byly známy. Jinými slovy, daná kalibrace nám poskytne závislost mezi vzdáleností a vlnovou délkou.

Pokud takto dispergované světlo dopadne na fázové rozhraní (např. vzduch a povrch měřeného vzorku), část se odrazí zpět do senzoru. Abychom byly schopni určit vzdálenost povrchu vzorku (tedy) od senzoru, potřebujeme z celého odraženého spektra vybrat pouze vlnovou délku/y, která/é je/jsou na povrch zaostřena/y. To se provádí pomocí analýzy intenzit odraženého spektra, pro které platí, že světlo dané vlnové délky zaostřené na povrch bude mít maximální intenzitu. Tímto způsobem můžeme měřit na příklad profil povrchu materiálu. Pokud měříme tloušťku transparentního materiálu, máme dvě fázová rozhraní (vzduch - horní povrch materiálu a spodní povrch materiálu - vzduch), ze kterých získáváme informaci ohledně vlnové délky světla, jež se na daná rozhraní zaostřuje. Pomocí interní kalibrace senzoru převedeme dané vlnové délky na vzdálenosti od senzoru a jejich rozdílem tloušťku materiálu.

Tímto způsobem lze opticky měřit tloušťku transparentních materiálů (např. sklo, PMMA, PS atd.). Tloušťka je změřena s přesností na jednotky mikrometrů a to s použitím pouze jednoho senzoru. Lze měřit i tloušťku jednotlivých vrstev vícevrstevných materiálů.



Obr. 1: Použití soustavy čoček k řízené disperzi světla pomocí chromatické aberace.

3. Cíl práce

- (i) S využitím přístroje confocalDT 2451 a senzoru IFS2405-1 a IFS2405-10 určete tloušťku podložního a krycího skla.
- (ii) Určete maximální počet podložních a krycích sklíček naskládaných na sebe, které je daný sensor schopen detekovat. Určete tloušťku jednotlivých sklíček naskládaných na sebe.
- (iv) Charakterizujte geometrii štěrbin vyrobené z plexiskla (tloušťka stěn, hloubka štěrbin).
- (v) Postupně naplňte štěrbinu roztoky dodanými asistentem a ověřte schopnost senzoru správně vyhodnotit tloušťku štěrbin.
- (vi) Diskutujte vliv složení a barvy roztoků na měření tloušťky štěrbin.

4. Popis zařízení

Zařízení se skládá z řídicí jednotky confocalDT 2451 (Obr 2, 3) a optického senzoru IFS2405-1 (Obr 4), které jsou spojeny optickým vláknem s izolací oranžové barvy. Řídicí jednotka je dále spojena s počítačem pomocí síťového kabelu. Senzor je umístěn na polohovacím stole se dvěma černými otočnými ovladači (Obr 4). Ovládací program běží na webovém rozhraní a spouští se zástupcem „confocalDT“ na pracovní ploše počítače.



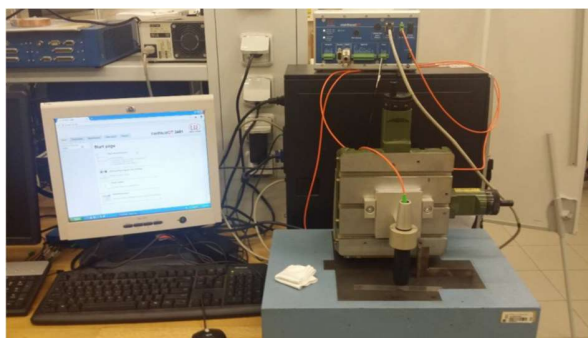
Obr. 2: Řídicí jednotka confocalDT 2451



Obr. 3: Oba indikátory musí během měření svítit zeleně.



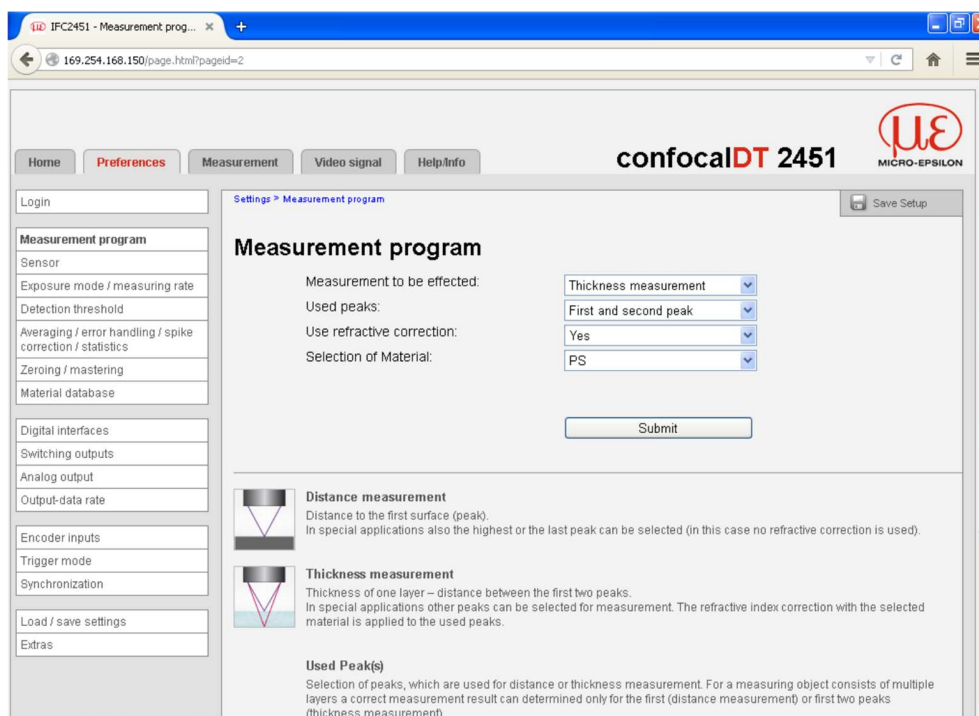
Obr. 4: Detail na senzor, světlá tečka je zaostřené polychromatické světlo



Obr. 5: Měřicí aparatura

5. Postup práce

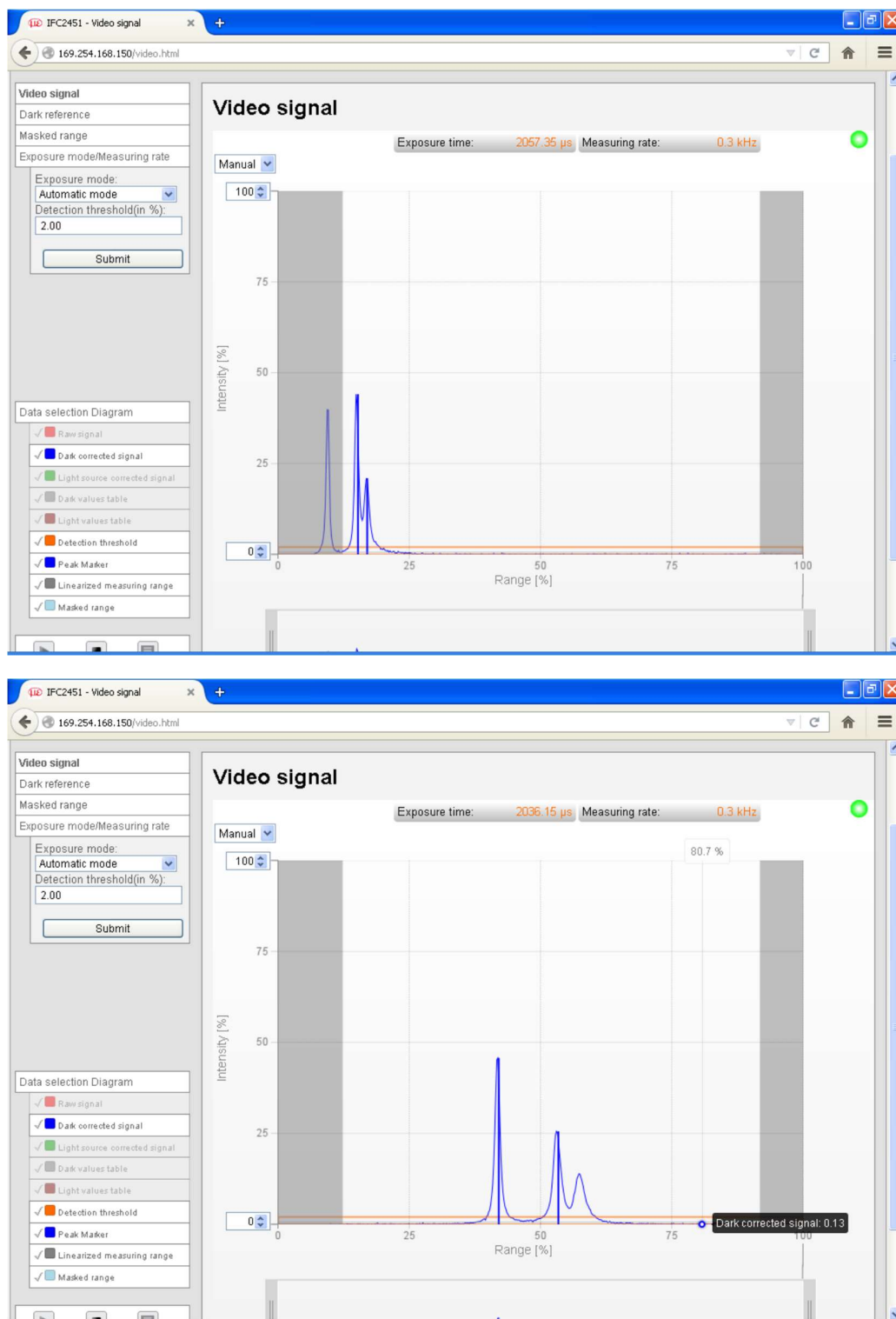
- (i) Zapněte řídicí jednotku a počítač a vyčkejte, až dojde k jejich síťovému spojení.
- (ii) Při měření tloušťky krycího skla používejte sensor IFS2405-1, pro podložní skla měření tloušťky štěrby IFS2405-10. Výměnu senzoru provádějte za pomoci asistenta.
- (iii) Umístěte vzorek pod senzor a zaostřete paprsek posunutím upínacího systému senzoru v ose Z. Indikační diody by měly svítit zeleně.
- (iii) Spustíte ovládací software. Zvolte příslušný typ měření (tloušťka, vzdálenost) a měřený materiál, pokud jej znáte. Pokud jej neznáte, vypněte korekci refrakce (Obr 6).
- (iii) V záložce Video signal se přesvědčte, že všechny nalezené píky jsou správně zaostřeny (jsou rozmístěny okolo poloviny rozsahu přístroje (Obr 6)).



Obr. 6: Volba programu (Thickness, Distance), a materiálu

- (v) V záložce Measurement odečtete hodnoty tloušťky jako rozdíl vzdáleností mezi prvním a druhým píkem Difference 1/2 (případně prvním a posledním viz Obr 6, Used peaks). Hodnoty je možno automaticky průměrovat zvolením Measurement averaging v nabídce v levé části okna. Měření lze zastavit a spustit pomocí tlačítek Start/Stop.
- (vi) Při měření tloušťky krycího skla a podložního skla naměřte celkem pět tloušťek v různých částech skel (uprostřed a v rozích) a naměřené hodnoty statisticky vyhodnoťte. Porovnejte naměřenou hodnotu s hodnotou naměřenou na mikrometrickém měřítku. Ujistěte se, že je zapnuta materiálová korekce a jako materiál je zvoleno sklo.

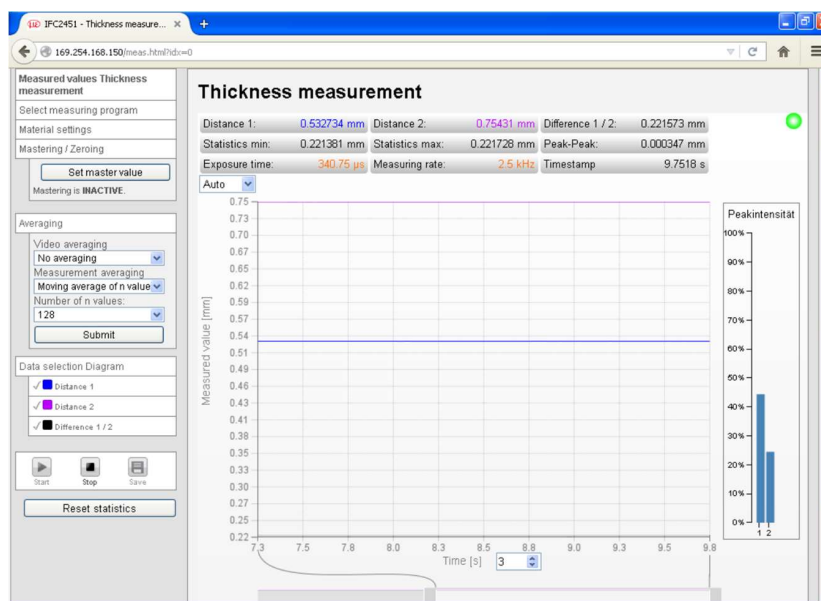
- (vii) Při měření maximálního počtu skel, který je daný sensor schopen rozeznat, postupujte následovně. Pod sensor vložte první sklíčko a naměřte jeho tloušťku (vzdálenost mezi prvním a druhým píkem). Poté na první sklíčko vložte druhé a nyní změřte tloušťku vrchního sklíčka jako vzdálenost mezi prvním a druhým píkem a ověřte tloušťku spodního sklíčka jako vzdálenost mezi předposledním a posledním píkem. V případě dvou sklíček by měl sensor ukazovat tři píky. S každým dalším přidaným sklíčkem by se měl objevit jeden pík navíc, kdy první dva odpovídají nejvýše položenému sklíčku a poslední dva nejnižší položenému sklíčku. Pomocí nastavení výšky senzoru nad vzorkem vždy korigujte signál, který vidíte na obrazovce. Pomocí opakovaného měření spodního sklíčka budete ověřovat závislost přesnosti měření jeho tloušťky se vzrůstajícím počtem narovnaných sklíček.
- (viii) V následujícím měření budete pracovat s jednoduchou štěrbinou vyrobenou v plexiskle. Nejdříve změřte jeho celkovou tloušťku mimo danou štěrbinu s nastavením korekce materiálu na plexisklo. Dále se stejnou materiálovou korekcí změřte celkovou výšku čipu v místě štěrbinu (vzdálenost mezi prvním a posledním píkem) a dále pak výšku vrchní (dva první píky) a spodní stěny dané štěrbinu (dva poslední píky) a určete tloušťku štěrbinu jako rozdíl celkové výšky a tloušťky stěn. Následně nastavte korekci materiálu na vzduch a naměřte výšku štěrbinu. V této chvíli je nutno nastavit signál senzoru tak, aby nepočítal s prvním píkem. V protokole diskutujte vliv nastavení korekce materiálu na měřené vzdálenosti. Pro orientaci, tloušťka štěrbinu i horní a dolní stěny štěrbinu je zhruba stejná a rovna přibližně 2,3 mm.
- (ix) V dalším měření budete postupně naplňovat štěrbinu určenými roztoky a budete se snažit nastavit podmínky měření tloušťky štěrbinu (pouze štěrbinu) tak, aby odpovídala realitě. Upozorňujeme, že pro některé roztoky mohou být píky signálu poměrně nízké a pro některé roztoky nemusí být sensor schopen naměřit správnou tloušťku. Získané výsledky diskutujte v protokole. Při výměně roztoků vždy promyjte štěrbinu pomocí destilované vody. K plnění štěrbinu používejte injekční stříkačku s nasazenou hadičkou. Rostoky nevylévejte a po použití je vracete zpět do zásobních baněk.
- (iv) V záložce Video signál se přesvědčte, že všechny nalezené píky jsou správně zaostřeny (jsou rozmístěny okolo poloviny rozsahu přístroje (Obr 7)).
- (v) V záložce Measurement odečtete hodnoty tloušťky jako rozdíl vzdáleností mezi prvním a druhým píkem Difference 1/2 (případně prvním a posledním viz Obr 6, Used peaks). Hodnoty je možno automaticky průměrovat zvolením Measurement averaging v nabídce v levé části okna. Měření lze zastavit a spustit pomocí tlačítek Start/Stop.



Obr. 7: Ověření správného zaostření paprsku

6. Zpracování dat

Data zpracujte formou přehledné tabulky, ve které uvedete hodnoty tloušťky ve všech měřených bodech pro každý vzorek. Dále pak pro každý vzorek spočítejte průměrnou tloušťku a její směrodatnou odchylku. Nezapomeňte uvést správné jednotky. Do protokolu kromě tabulky napište velmi stručně princip měření (1-2 věty) a diskutujte odchylky v tloušťce jednotlivých vzorků.



7. Bezpečnostní pokyny

Optické vlákno je křehké, nepřehýbejte jej ani jej nepoužívejte ke škrcení spolužáků.

8. Kontrolní otázky

1. Jakým způsobem lze měřit tloušťku vzorků?
2. Lze těmito všemi způsoby změřit i tloušťku nanosené vrstvy?
3. Na jakém principu funguje konfokální měření chromatických aberací?
4. Z jakých částí se skládá měřicí přístroj? Popište aparaturu.
5. Jak poznáte, že je světlo správně zaostřené?
6. Popište, jak změříte tloušťku jednoho ze zadaných vzorků?
7. Jak si zvolíte měřicí program?
8. Jakým způsobem zapnete korekci pro měřený materiál?
9. Jaký je rozdíl mezi měřením tloušťky pomocí prvního a druhého píku a prvního a posledního píku?
10. Proč nesmíte ohýbat optické vlákno?