

OPTICAL CHARACTERIZATION OF THIN FILMS USING EVOLUTIONARY TECHNIQUES

Miloslav Horáček

Master Degree Programme (2), FIT BUT

E-mail: xhorac10@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Jaroš

E-mail: jarosjir@fit.vutbr.cz

ABSTRACT

My master's thesis deals with creating of a suitable evolutionary technique that optimizes the parameters of the thin films according to the specified requirements of the proposer. This technique will be used at Faculty of Mechanical Engineering and it should save a labour of the whole department.

1. ÚVOD

Cílem příspěvku je seznámit čtenáře se základní myšlenkou elektromagnetické optiky a především s implementací algoritmu charakterizace tenkých vrstev. Jak již z názvu práce vyplývá, algoritmus bude při určování parametrů tenkých vrstev využívat evolučních technik. Hlavní smysl algoritmu je vylepšení a automatizace metody „Nejmenších čtverců“. Tato varianta byla již nedostačující z důvodu přesnosti a také velké pracnosti. Vstupem aplikace bude sled obrázků ve vybraných vlnových délkách získaných pomocí spektrofotometru. Výstupem je pět nejlepších parametrů získaných pomocí evoluce.

2. TENKÉ VRSTVY

Účelem tenkých vrstev je zvýšení optických vlastností vybraných prvků. Pomocí tenkých vrstev můžeme docílit určité odrazivosti nebo propustnosti pro vybrané vlnové délky. Vrstvy mohou být kovové (Cr, Ag, Al, Ni), smíšené nebo dielektrické (ZnS, SiO₂, MgF₂). V našem případě budeme používat dielektrickou vrstvu SiO₂ [3].

3. ELEKTROMAGNETICKÁ OPTIKA

Elektromagnetická optika vychází z Maxwellových rovnic. Jedná se o čtyři základní axiomy elektromagnetické optiky. Pomocí těchto rovnic parametrů je třeba odvodit rovnici pro neabsorbující a absorbující vrstvu. Aproximace této rovnice je zobrazena (rovnice 1). Pro dosažení použijeme rovnici 2 [3].

Platí:

n_0 = index lomu vzduchu (v našem případě $n_0 = 1$)

\tilde{n} = index lomu vrstvy

\tilde{N} = index lomu podložky

k = extinkční koeficient

λ_k = vlnová délka v nanometrech [nm]

R_0 = odrazivost čistého křemíku

$$\frac{1}{R_0(\lambda_k)} \left| \frac{[n_0 - n(\lambda_k)][n(\lambda_k) + \tilde{N}(\lambda_k)] + [n_0 + n(\lambda_k)][n(\lambda_k) - \tilde{N}(\lambda_k)] \exp\left(i \frac{4\pi}{\lambda_k} n(\lambda_k) d\right)}{[n_0 + n(\lambda_k)][n(\lambda_k) + \tilde{N}(\lambda_k)] + [n_0 - n(\lambda_k)][n(\lambda_k) - \tilde{N}(\lambda_k)] \exp\left(i \frac{4\pi}{\lambda_k} n(\lambda_k) d\right)} \right|^2 = \frac{I(\lambda_k)}{I_0(\lambda_k)}$$

(1)

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \quad (2)$$

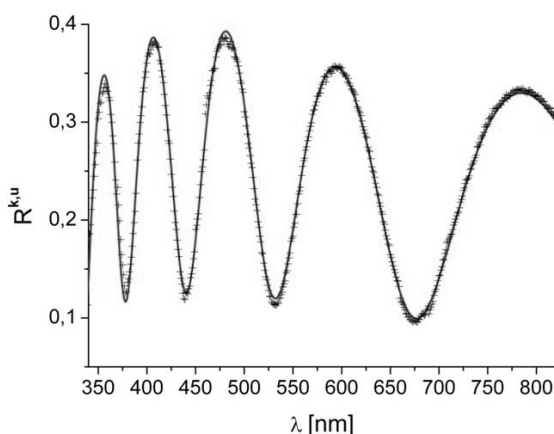
Pravá strana rovnice (2.1) určuje pixelovou mapu relativní odrazivosti získanou pomocí podílu příslušných pixelů vstupních obrazů stejné vlnové délky. Levá strana je funkcí pěti parametrů. Naším úkolem je zvolit takové parametry A, B, C, d, abychom co nejlépe aproximovali křivku pixelové mapy. Parametry A, B, C představují konstanty a parametr d je tloušťka tenké vrstvy [2, 3].

4. EVOLUČNÍ ALGORITMY

Evoluční techniky jsou stochastické numerické algoritmy, které vycházejí ze základních přístupů Darwinovy teorie. Evoluční algoritmy, nebo také jejich speciální oblast genetické algoritmy, simulují svým způsobem chování přírody, kde spolu soupeří jedinci jedné populace (druhu) o přežití. Nejprve je vytvořena počáteční populace. Každý jedinec je následně ohodnocen pomocí účelové funkce. Operátor selekce obstará výběr nejlepších jedinců pro další cyklus algoritmu. Většinou podle hodnoty účelové funkce. Pomocí operátoru křížení dochází ke vzniku nových jedinců. Nejdůležitější myšlenkou křížení je fakt, že každý nově vytvořený jedinec uchovává kombinaci genetické informace od svých rodičů. Každý nový jedinec je v další fázi zmutován pomocí náhodného procesu. Tím získáme mírně modifikovaného jedince a zabráníme tak vzniku stále stejné populace jedinců. Tímto způsobem vnášíme do populace nový genetický materiál. Z nově vzniklé populace jsou opět vybráni ti nejlepší jedinci. Tedy ti, kteří dosáhli nejvyšší kvality při ohodnocování pomocí účelové funkce. V posledním kroku evolučního procesu je stará populace zahozena a nahrazena novou. Cyklus se neustále opakuje, dokud nezískáme nejlepší alelu v podobě našeho řešení [1, 2].

4.1. APROXIMACE KŘIVKY PÍXELOVÉ MAPY

Jakmile dostaneme průběh každého pixelu v různých vlnových délkách, bude třeba zvolit takové parametry A, B, C a d, které co nejlépe tuto funkci vystihují. Bude třeba najít takové argumenty, aby suma kvadrátů odchylek všech pixelů byla minimální. To znamená, aby námi vytvořená funkce co nejlépe popisovala průběh jednoho pixelu. Tento úkol bude v kompetenci účelové funkce, která zajistí správné ohodnocení pro vybrané argumenty. Výpočet bude probíhat po pro každý pixel nezávisle. Výsledný průběh mapy relativní odrazivosti jednoho pixelu pro vlnovou délku 320nm je znázorněn na obrázku 1.



Obrázek 1: Mapa relativní odrazivosti (320nm).

4.2. IMPLEMENTACE ÚČELOVÉ FUNKCE

Optimalizace této funkce spočívá v nalezení optimálních hodnot jejich argumentů. V našem případě se jedná o součet sum kvadrátů odchylek mapy relativní odrazivosti pro různé vlnové délky jednoho pixelu. Čím je odchylka menší, tím je naše řešení lepší.

5. ZÁVĚR

Práce popisuje základní myšlenky použité při implementaci evolučního algoritmu. Hlavní důraz je kladen na implementaci účelové funkce. Na jejím správném ohodnocení jedinců závisí úspěch či neúspěch celé práce. Evoluční algoritmy jsou vhodné k řešení problémů, kde neznáme přesné řešení, ale mohou konvergovat k lokálnímu optimu.

Poděkování: Tato práce vznikla částečně za podpory grantu VUT FIT, FIT-S-10-1 a specifického výzkumu MSM0021630528.

LITERATURA

- [1] Zelinka, I., Oplatková, Z., Šeda, M., Ošmera, P., Včelař, F.: Evoluční výpočetní techniky. Praha: 2009, [cit. 2009-12-04], ISBN: 978-80-7300-218-3.
- [2] Born, M., Wolf, E.: Principal of Optics. Cambridge University Press, 1999, [cit. 2009-12-15], ISBN: 0521642221.
- [3] Vašíček, A.: Optika tenkých vrstev. ČSAV, Praha, 1956, [cit. 2009-12-15].