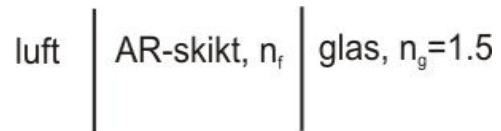


Föreläsning 8: Fortsättning antireflexbehandling

Tunt lager på glas. Ger destruktiv interferens över hela ytan.

1. Hur tjockt ska skiktet vara?

2. Vilket material ska användas?



1. Tjocklek (från förra föreläsningen)

Om vi antar

- Vinkelrätt infall
- Tunnare-tätare-ännu tätare
- Destruktiv interferens

Så är

$$2n_f d \cos 0 = m \cdot \lambda + \frac{\lambda}{2}$$

$$2n_f d = \frac{\lambda}{2} + m \cdot \lambda$$

Tunnaste skiktet för $m=0$

$$n_f d = \frac{\lambda}{4}$$

2. Material

Materialen ska väljas så att I_1 och I_2 blir lika stora för då kan de släcka ut varandra. Det sker då:

$$n_f = \sqrt{n_g}$$

Visa detta:

$$I_1 = R_1 I_0$$

$$I_2 = (1 - R_1)R_2(1 - R_1)I_0 \approx R_2 I_0$$

$$I_{tot} = R_{tot} I_0$$

För destruktiv interferens (som vi redan valt, då vi valde tjockleken) gäller

$$I_{tot} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$$

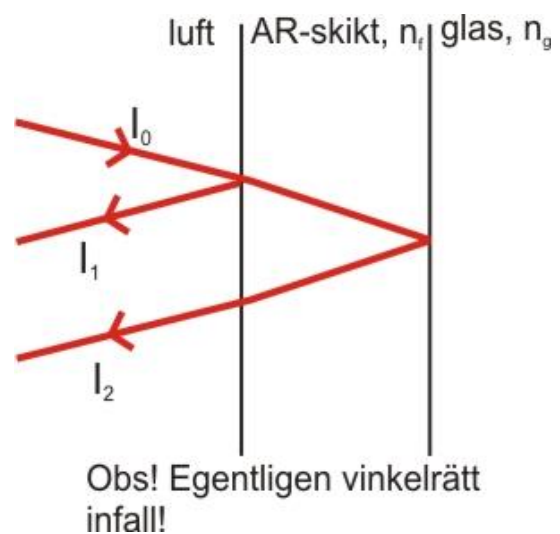
och därmed

$$R_{tot} = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2}$$

Detta kan skrivas om som

$$R_{tot} = (\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2})^2.$$

Om reflektansen ska vara noll, krävs att $R_1 = R_2$, dvs



$$\frac{(n_f - 1)^2}{(n_f + 1)^2} = \frac{(n_g - n_f)^2}{(n_g + n_f)^2}$$

Vi har sagt $1 < n_f < n_g$ så vi vet att både $n_f - 1$ och $n_g - n_f$ är positiva. Då kan vi ta bort kvadraten.

$$\frac{n_f - 1}{n_f + 1} = \frac{n_g - n_f}{n_g + n_f}$$

Lös ekvationen!

$$(n_f - 1)(n_g + n_f) = (n_f + 1)(n_g - n_f)$$

$$n_f n_g + n_f^2 - n_g - n_f = n_f n_g - n_f^2 + n_g - n_f$$

$$2n_f^2 = 2n_g$$

$$n_f = \sqrt{n_g} \quad \text{VSV.}$$

Ex) $n_g=1.52$ (BK7)

$$n_f = \sqrt{n_g} = 1.23 \quad \text{Finns inte, välj närmaste: MgF}_2, n_f=1.38$$

Total reflektans:

$$\frac{I_{tot}}{I_0} = (\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2})^2 = 0.012 = 1.2\%$$

Inte så bra, reflektansen är fortfarande hög.

Ex) $n_g=1.73$ (ngn sorts högbrytande)

$$n_f = \sqrt{n_g} = 1.32 \quad \text{Finns inte, välj närmaste: MgF}_2, n_f=1.38$$

Total reflektans:

$$\frac{I_{tot}}{I_0} = (\sqrt{R_1} - \sqrt{R_2})^2 = 0.012 = 0.2\%$$

Väldigt bra. Reflektansen blir låg.

Tabell över några möjliga material (efter Freeman)

Material	Beteckning	Brytningsindex
Magnesiumfluorid	MgF ₂	1.38
Kiseldioxid	SiO ₂	1.45
Aluminiumoxid	Al ₂ O ₃	1.65
Kiseloxid	SiO	2.0
Zinksulfid	ZnS	2.3
Titaniumoxid	TiO ₂	2.35

Ex) Fallet ovan, $n_g=1.52$ (BK7), $n_f=1.38$ $d=0.5 \mu\text{m}$ i vitt ljus, vinkelrät infall. Skissa reflektansen som funktion av våglängden!

Max då:

$$m=1: \lambda = 2n_f d = 1380 \text{ nm (IR)}$$

$$m=2: \lambda = \frac{2n_f d}{2} = 690 \text{ nm (rött)}$$

$$m=3: \lambda = \frac{2n_f d}{3} = 460 \text{ nm (blågrönt)}$$

$$m=4: \lambda = \frac{2n_f d}{4} = 345 \text{ nm (UV)}$$

Min då:

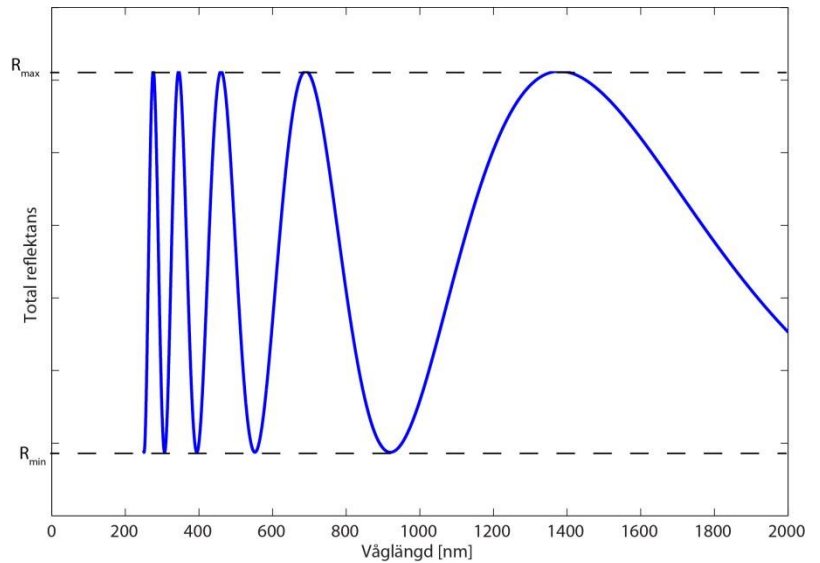
$$m=0: \lambda = 4n_f d = 2760 \text{ nm (IR)}$$

$$m=1: \lambda = \frac{4n_f d}{3} = 920 \text{ nm (IR)}$$

$$m=2: \lambda = \frac{4n_f d}{5} = 552 \text{ nm (grönt)}$$

$$m=3: \lambda = \frac{4n_f d}{7} = 394 \text{ nm (blått)}$$

$$m=4: \lambda = \frac{4n_f d}{9} = 307 \text{ nm (UV)}$$



$$R_1 = \left(\frac{1.38 - 1}{1.38 + 1} \right)^2 = 0.025$$

$$R_2 = \left(\frac{1.52 - 1.38}{1.52 + 1.38} \right)^2 = 0.0023$$

$$R_{\max} = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1 R_2} = 4.3\%$$

$$R_{\min} = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} = 1.2\%$$

Flerskikts-AR

Ni vet vi att det finns flera problem med antireflexskikten:

- Fungerar ej för alla våglängder samtidigt
- Fungerar ej för alla vinklar samtidigt
- Rätt material finns (oftast) inte

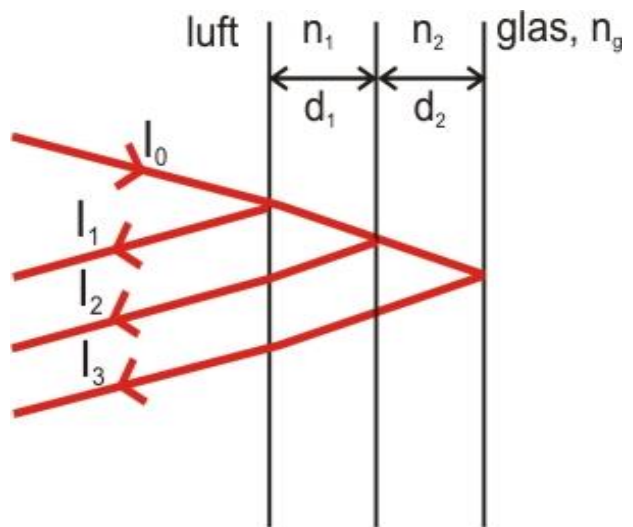
Vad gör man då? Använd flera skikt efter varandra! Ger tillsammans mycket bra egenskaper. Ofta 10 till 20 olika lager i en antireflexbehandling.

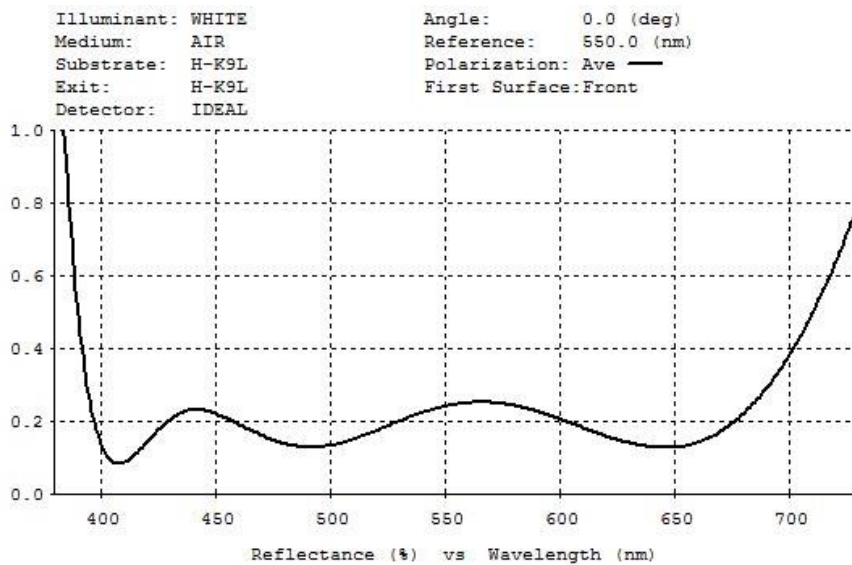
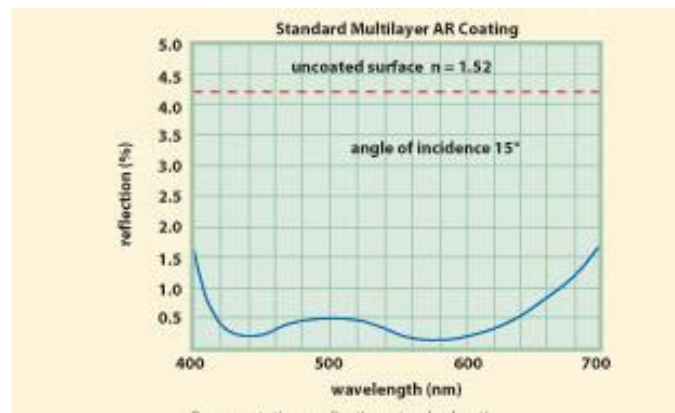
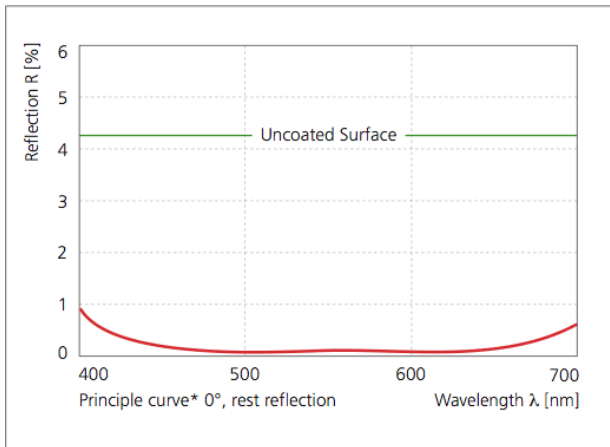
Ex) Två skikt! Tjocklekar väljs så att:

$$I_{tot} = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2} + \sqrt{I_3})^2$$

För fler lager än två gör man beräkningarna på dator.

Exempel på flerskiktsbehandlingar från handeln finns på nästa sida.

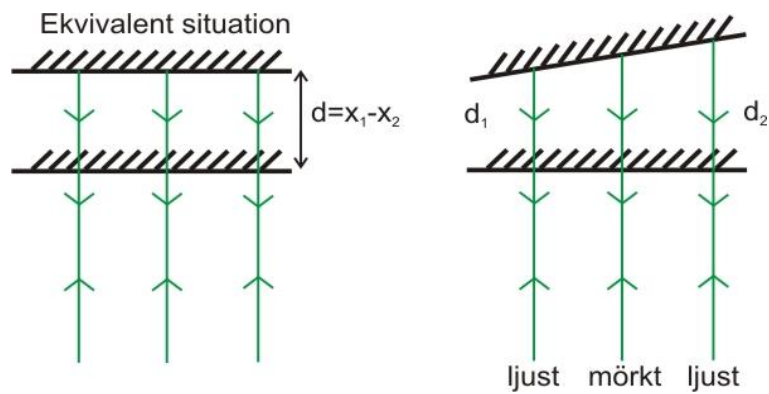
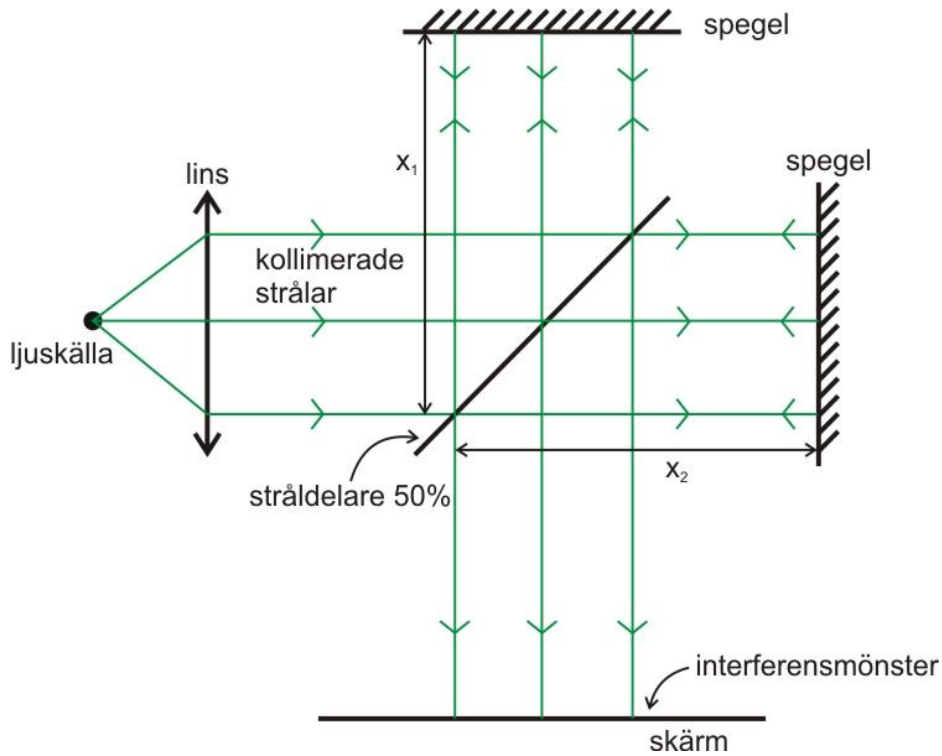




Interferens är mer än tunna skikt

Michelsoninterferometern

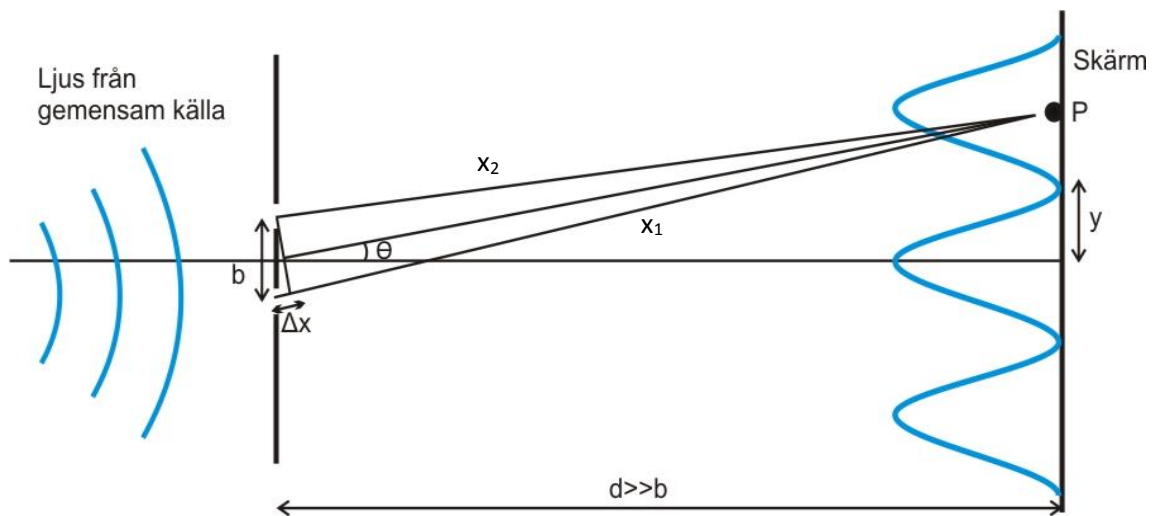
Delning av amplitud med hjälp av stråldelare. Vanligt sätt att undersöka kvalitén på optiska ytor!



Optisk vägskillnad: $\Delta L = 2d = m\lambda$ ger max \leftrightarrow ljus interferensfrans.

Dubbelspalt

Interferens mellan ljus från två håll. Mest av akademiskt intresse, men används för att mäta koherensen på ljus.



Maximum då $y = m \frac{\lambda d}{b}$, $m = \text{heltal} = \dots -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$

Överkurs att visa detta:

$$I_1 = I_2 = I, \quad \omega_1 = \omega_2 = \omega, \quad k_1 = k_2 = k, \quad \delta_1 = \delta_2 = \delta \quad (\text{Samma källa})$$

$$I_{\text{tot}} = I + I + 2\sqrt{I \cdot I} \cos \Delta\varphi = 2I(1 + \cos \Delta\varphi)$$

$$\Delta\varphi = k(x_1 - x_2) - t(\omega - \omega) + \delta - \delta = k(x_1 - x_2) = k\Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

Ta fram värdet på Δx :

$$\tan \theta = \frac{\Delta x}{b} = \frac{y}{d} \rightarrow \Delta x = \frac{yb}{d} \rightarrow \Delta\varphi = \frac{2\pi yb}{\lambda d}$$

$$\text{Maximum då } \Delta\varphi = m \cdot 2\pi = 2\pi \frac{yb}{\lambda d} \rightarrow m = \frac{yb}{\lambda d} \rightarrow y = m \frac{\lambda d}{b} \quad \text{VSB!}$$