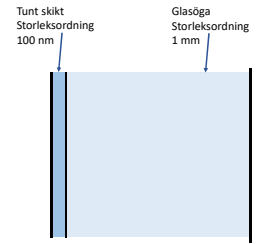


Hur fungerar AR-skikt?

Föreläsning 7 fysikalisk optik

Tunna skikt

AR-behandlingar är tunna skikt.
Själva glasögat är ca 10 000 gånger tjockare.
Skiktet läggs på båda sidor glasat.

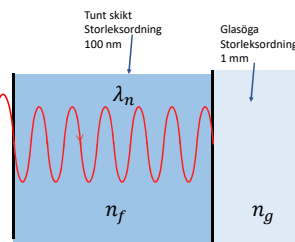


Vad händer i skiktet?

1) Ljus transmitteras λ

Våglängden blir kortare!
Eftersom ljushastigheten blir lägre,
 $c_n = c/n$.
Frekvensen ändras inte! Då blir

$$\lambda_n = \frac{c_n}{v} = \frac{c}{nv} = \frac{\lambda}{n}$$



Def: optisk väglängd

Om ljus går sträckan d genom ett material med brytningsindel n , är den optiska väglängden

$$L = nd.$$

Om materialet byts längs vägen, lägger man bara ihop bidragen:

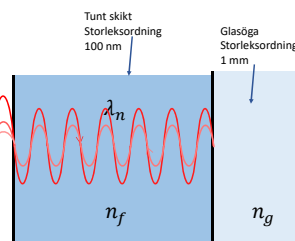
$$L = n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 + \dots$$

Sedan ersätter man sträckan d med optiska väglängden L i många beräkningar.

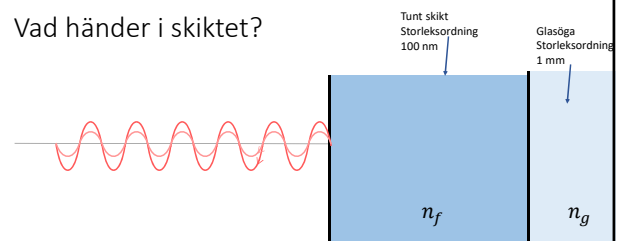
Vad händer i skiktet?

2) Ljus reflekteras λ

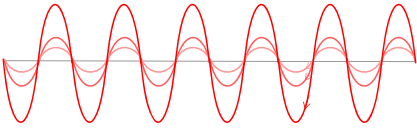
3) Ljus reflekteras i nästa yta också
4) Det mesta av ljuset går igenom ytan



Vad händer i skiktet?



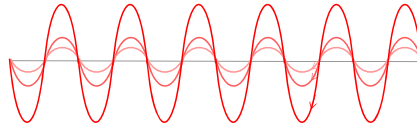
Vad händer i skiktet?



De två vågorna samverkar. Detta kallas för interferens. I detta fall konstruktiv interferens, dvs de två vågorna förstärker varandra.

Mer ljus reflekteras!
Motsatsen till en AR-behandling.

Vad händer i skiktet?



$$I_{tot} \propto (a_1 + a_2)^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2$$

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}$$

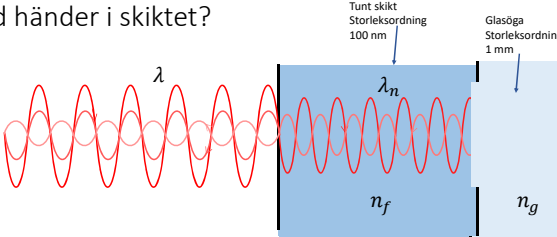
Konstruktiv interferens, förstärkning

$$I_1 = I_0R_1 \quad I_2 = I_0R_2$$

$$I_{tot} = I_0R_{tot}$$

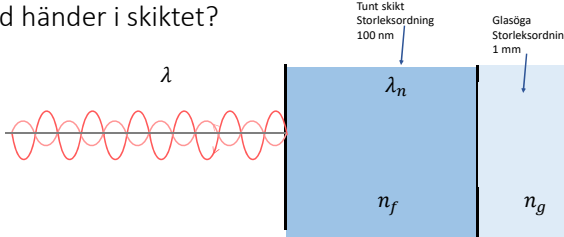
$$R_{tot} = R_1 + R_2 + 2\sqrt{R_1R_2}$$

Vad händer i skiktet?

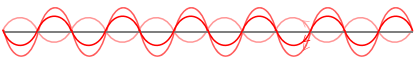


Byt mot ett lite tunnare skikt!

Vad händer i skiktet?



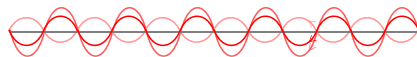
Vad händer i skiktet?



De två vågorna samverkar. Detta kallas för interferens. I detta fall destruktiv interferens, dvs de två vågorna försvagar varandra.

Mindre ljus reflekteras!
Detta är en AR-behandling.

Vad händer i skiktet?



$$I_{tot} \propto (a_1 - a_2)^2 = a_1^2 + a_2^2 - 2a_1a_2$$

$$I_{tot} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1I_2}$$

Destruktiv interferens, försvagning

$$I_1 = I_0R_1 \quad I_2 = I_0R_2$$

$$I_{tot} = I_0R_{tot}$$

$$R_{tot} = R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1R_2}$$

Vad avgör om det blir antireflex?

- Tjockleken på skiktet
- Typen av reflektion

Ljuset kan reflekteras på två sätt

Utan fasskift.

Om n' är mindre än n , kallas tätare-tunnare.

Ljuset kan reflekteras på två sätt

Med ett fasskift på π .

Om n är mindre än n' , kallas tunnare-tätare.

Interferens i tunna skikt

$2n_f d = \frac{\lambda}{2}$ Ger destruktiv interferens (dvs AR-skikt)

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

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Fasskift π i båda reflektionerna.

Interferens i tunna skikt

$2n_f d = \lambda$ Ger konstruktiv interferens (dvs spegel)

$d = \frac{\lambda}{2n_f}$

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Fasskift π i båda reflektionerna.

Interferens i tunna skikt

$2n_f d = \frac{3}{2}\lambda$ Ger destruktiv interferens (dvs AR-skikt)

$d = \frac{3\lambda}{4n_f}$

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Fasskift π i båda reflektionerna.

Interferens i tunna skikt

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Ger konstruktiv interferens (dvs spegel)

$2n_f d = 2\lambda$

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

Fasskift π i båda reflektionerna.

Interferens i tunna skikt

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Ger destruktiv interferens om

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

$m = 0, 1, 2, \dots$

Ger konstruktiv interferens om

$2n_f d = m \cdot \lambda$

$m = 1, 2, 3, \dots$

Om man gör en enskiktts antireflexbehandling, använder man oftast tunnare – tätare – ännu tätare. Om du kan välja fritt, välj det tunnast möjliga skiktet!

Fasskift π i båda reflektionerna.

Interferens i tunna skikt

Om $1 < n_f > n_g$.
Tunnare – tätare – tunnare

Ger konstruktiv interferens (dvs reflekterar mycket)

$2n_f d = \frac{\lambda}{2}$

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

Fasskift π i ena reflektionen.

Interferens i tunna skikt

Om $1 < n_f > n_g$.
Tunnare – tätare – tunnare

Ger destruktiv interferens (dvs lite reflekteras)

$2n_f d = \lambda$

$d = \frac{\lambda}{2n_f}$

Fasskift π i ena reflektionen.

Interferens i tunna skikt

Om $1 < n_f > n_g$.
Tunnare – tätare – tunnare

Ger konstruktiv interferens (dvs mycket reflekteras)

$2n_f d = \frac{3}{2}\lambda$

$d = \frac{3\lambda}{4n_f}$

Fasskift π i ena reflektionen.

Interferens i tunna skikt

Om $1 < n_f > n_g$.
Tunnare – tätare – tunnare

Ger destruktiv interferens (dvs lite reflekteras)

$2n_f d = 2\lambda$

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

Fasskift π i ena reflektionen.

Interferens i tunna skikt

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – tunnare

Ger konstruktiv interferens om

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

$m = 0, 1, 2, \dots$

Ger destruktiv interferens om

$$2n_f d = m \cdot \lambda$$

$m = 1, 2, 3, \dots$

Ex. såpbubbla eller olja på vatten. Används även i antireflexbehandlingar med flera skikt.

Om skiktet blir AR beror på

- Tjockleken på skiktet (i förhållande till valt material)
- Typen av reflektion (oftast tunnare – tätare – ännu tätare)

Tre saker kvar att ta reda på:

- Vad händer om våglängden (dvs ljusets färg) ändras?
- Vad händer om infallsvinkeln ändras?
- Spelar det någon roll vad vi väljer för material?

Om ljusets färg ändras

$2n_f d = 2\lambda$

Ger konstruktiv interferens (dvs spegel)

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

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Om ljusets färg ändras

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Om ljusets färg ändras

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – ännu tätare

Om ljusets färg ändras

Villkoret för destruktiv interferens, t.ex.

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

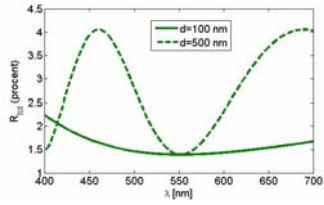
beror av våglängden. Alltså är skiktet inte längre ett AR-skikt om våglängden ändras.

$n_f = 1.37$
 $n_g = 1.5$

Wavelength [nm]	R_tot (%) for d=73 nm	R_tot (%) for d=91 nm	R_tot (%) for d=109 nm
400	1.5	1.8	2.5
450	1.4	1.6	2.0
500	1.3	1.4	1.5
550	1.4	1.3	1.4
600	1.6	1.4	1.4
650	1.9	1.5	1.4
700	2.2	1.6	1.4

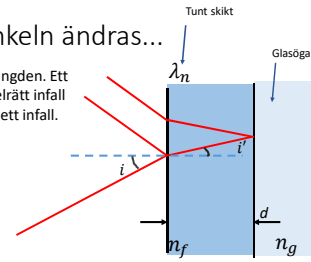
Extra: varför tunnaste skiktet?

Tunnaste skiktet ger flackaste kurvan, dvs fungerar för flest våglängder inom synliga spektrat.



Om infallsvinkeln ändras...

... så ändras optiska väglängden. Ett skikt som var AR för vinkelrätt infall är troligtvis inte AR för snett infall.



I alla formler för konstruktiv/destruktiv interferens ska

$$2n_f d$$

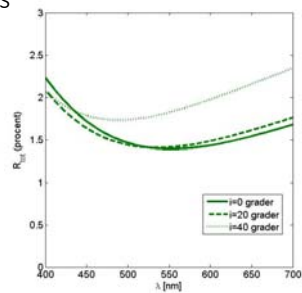
ersättas med

$$2n_f d \cos i'$$

Om infallsvinkeln ändras

• Skiktet ser "tunnare" ut (med en faktor $\cos i'$). Då skiftas optimala våglängden mot kortare våglängder.

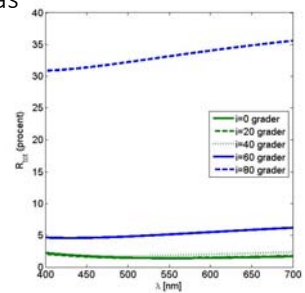
• Reflektansen i varje skikt ökar med vinkeln. Då tenderar även totala reflektansen att öka.



Om infallsvinkeln ändras

• Skiktet ser "tunnare" ut (med en faktor $\cos i'$). Då skiftas optimala våglängden mot kortare våglängder.

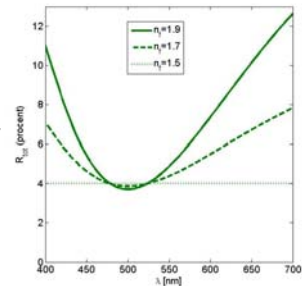
• Reflektansen i varje skikt ökar med vinkeln. Då tenderar även totala reflektansen att öka.



Vilket material är bäst?

Vi antar:

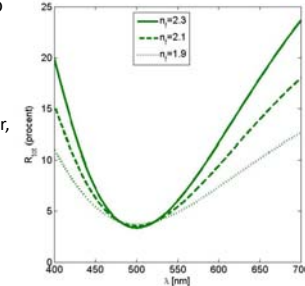
- Glasets brytningsindex $n_g = 1.5$
- Skiktets brytningsindex n_f varierar, så att skiktet är anrireflex för våglängd 500 nm



Vilket material är bäst?

Vi antar:

- Glasets brytningsindex $n_g = 1.5$
- Skiktets brytningsindex n_f varierar, så att skiktet är anrireflex för våglängd 500 nm



Varför fungerar $n_f > n_g$ så dåligt? $2nd = \lambda$ $d = \frac{\lambda}{2n}$

Fasskift π i ena reflektionen.

Om $1 < n_f < n_g$.
Tunnare – tätare – tunnare

R_1 blir stor.
 R_2 blir mindre.
Vågorna kan inte släcka ut varandra helt.

Vilket material är bäst?

Vi antar:

- Glasets brytningsindex $n_g = 1.5$
- Skiktets brytningsindex n_f varierar, så att skiktet är anireflex för våglängd 500 nm

Det finns ett optimalt brytningsindex. Vilket är det?
Det tar vi på tavlan!

Vilket material är bäst?

Vi antar:

- Glasets brytningsindex $n_g = 1.5$
- Skiktets brytningsindex n_f varierar, så att skiktet är anireflex för våglängd 500 nm

Det finns ett optimalt brytningsindex. Vilket är det?
Det tar vi på tavlan!

Men här då?

- Blir det inte interferens mellan reflexerna från gläögats båda sidor?
- Nej, för fäsen hoppas hela tiden. Tjockt skikt!
- Ibland konstruktiv, ibland destruktiv interferences.
- $I_{tot} = I_1 + I_2$

Koherens

- Inkoherent ljus: fäsen hoppas ofta. Ingen interferens!
- Koherent ljus: fäsen hoppas aldrig. Interferens!

I praktiken: varken helt koherent eller helt inkoherent.

- Låg koherens, t.ex. solljus eller lampljus – mindre än 1 mm mellan fashoppen
- Hög koherens, t.ex. laserljus – upp till några km mellan fashoppen