

Rayons X et applications - TD n°2

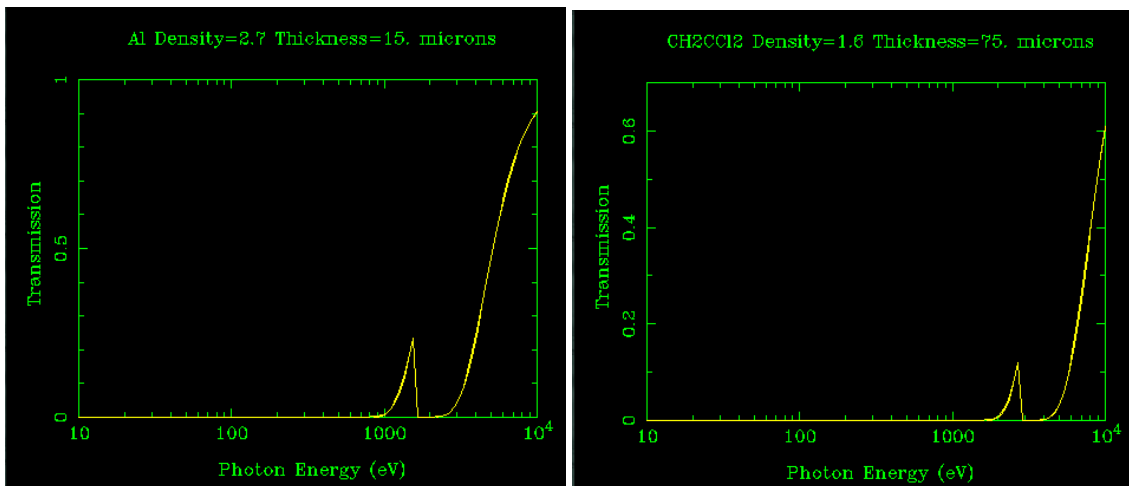
Les simulations seront effectuées sur le site web http://henke.lbl.gov/optical_constants/

Exercice 1 : Comparison of aluminum and Saran (two common wraps for sandwiches, also common as x-ray filters)

D'après l'ouvrage de D. Attwood : « Soft X-Rays and Extreme Ultraviolet Radiation: Principles and Applications » (homework problems sur <http://ast.coe.berkeley.edu//sxr2009/>)

1) Compute and graph the transmission curves (linear transmission, log photon energy; 0-100% and 100 eV to 10 keV, respectively) for : (a) 15 μm thick aluminum foil and (b) 75 μm thick Saran wrap.

For Al use $\rho = 2.70 \text{ g/cm}^3$; for Saran wrap ($\text{CH}_2=\text{CCl}_2$) use $\rho = 1.60 \text{ g/cm}^3$ (total).



2) Quelle fonction de filtrage peut-on réaliser avec ce type de composant ?

Le filtre métallique joue le rôle de passe-haut (en énergie). On peut aussi réaliser un passe-bande en l'associant à un miroir en réflexion totale.

Exercice 2 : Miroirs en réflexion totale

On considère ici trois longueurs d'onde spécifiques: $\lambda_{\text{EUV}} = 20 \text{ nm}$ ($E \approx 62 \text{ eV}$, domaine extrême UV), $\lambda_{\text{SXR}} = 2 \text{ nm}$ ($E \approx 620 \text{ eV}$, domaine Soft X-ray), et $\lambda_{\text{HXR}} = 0,2 \text{ nm}$ ($E \approx 6,2 \text{ keV}$, domaine Hard X-ray).

1) Calculer l'indice optique complexe (δ et β) du silicium et du nickel pour ces trois longueurs d'onde. On supposera que les densités du silicium et du nickel valent respectivement $2,33 \text{ g/cm}^3$ et $8,9 \text{ g/cm}^3$. On utilisera les valeurs de facteur de diffusion atomique ($f = f_1 + if_2$) suivants :

	$\lambda = 0,2 \text{ nm}$		$\lambda = 2 \text{ nm}$		$\lambda = 20 \text{ nm}$	
	f1	f2	f1	f2	f1	f2
Si (Z=14)	14.34	0.53	13.37	2.39	2.73	0.52
	$\delta = 1,3 \cdot 10^{-5}$	$\beta = 4,8 \cdot 10^{-7}$	$\delta = 1,2 \cdot 10^{-3}$	$\beta = 2,2 \cdot 10^{-4}$	$\delta = 2,5 \cdot 10^{-2}$	$\beta = 4,6 \cdot 10^{-3}$

Ni (Z=28)	26.80	0.84	17.73	3.25	2.19	4.47
	$\delta = 4,4 \cdot 10^{-5}$	$\beta = 1,4 \cdot 10^{-6}$	$\delta = 3,0 \cdot 10^{-3}$	$\beta = 5,3 \cdot 10^{-4}$	$\delta = 3,9 \cdot 10^{-2}$	$\beta = 7,2 \cdot 10^{-2}$

On utilise les formules suivantes :

$$\delta = \frac{n_a r_e \lambda^2}{2\pi} f_1^0(\omega)$$

$$\beta = \frac{n_a r_e \lambda^2}{2\pi} f_2^0(\omega)$$

avec $r_e = 2,8719 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

$$\text{Et } n_a(\text{Si}) = \frac{\rho(\text{Si}) \times N_{\text{Avogadro}}}{M(\text{Si})}$$

$N_{\text{Avogadro}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ atome/mole}$

Masse molaire : $M (= 28,1 \text{ g.mol}^{-1} \text{ pour Si})$

Densité massique : $\rho (= 2,33 \text{ g.cm}^{-3} \text{ pour Si})$

Soit $n_a(\text{Si}) = 5 \cdot 10^{22} \text{ at/cm}^3$

Même raisonnement pour Ni avec $M(\text{Ni}) = 58,7 \text{ g.mol}^{-1}$ et $\rho(\text{Ni}) = 8,9 \text{ g.cm}^{-3}$

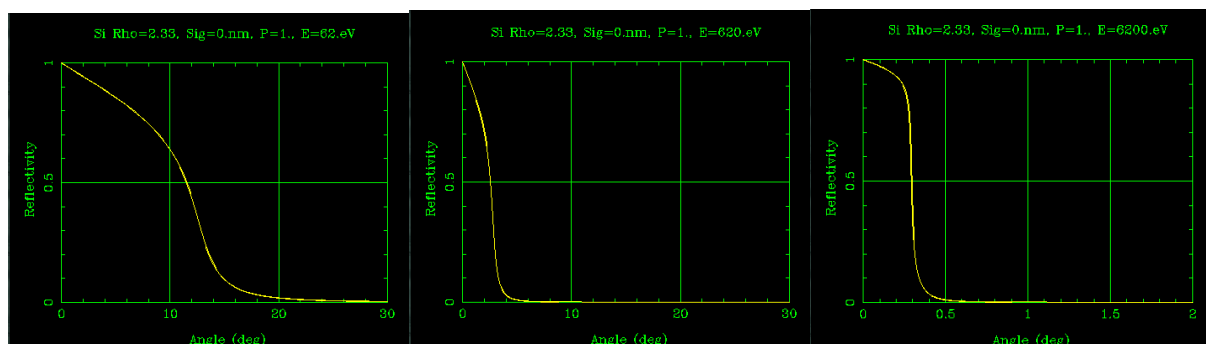
2) Calculer la longueur d'absorption et l'angle critique de réflexion totale externe du silicium et du nickel pour chaque longueur d'onde.

$$l_{\text{abs}} = \frac{\lambda}{4\pi\beta}$$

$$\theta_c = \sqrt{2\delta}$$

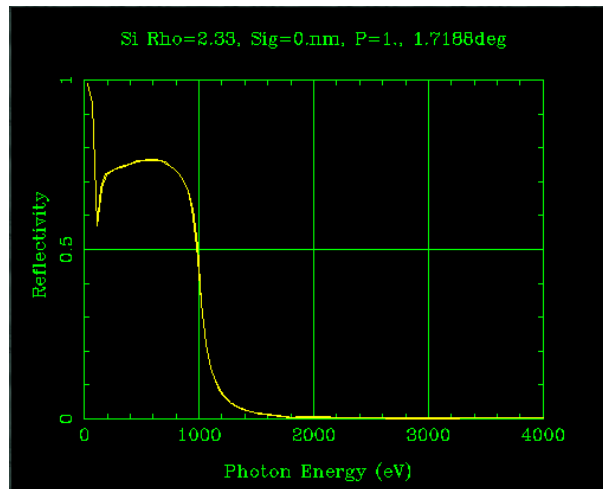
	lambda (nm)	delta	beta	labs (cm)	angle critique (deg)	beta/delta
Si	0,2	1,30E-05	4,80E-07	3,32E-03	2,92E-01	3,69E-02
	2	1,20E-03	2,20E-04	7,23E-05	2,81E+00	1,83E-01
	20	2,50E-02	4,60E-03	3,46E-05	1,28E+01	1,84E-01
Ni	0,2	4,40E-05	1,40E-06	1,14E-03	5,37E-01	3,18E-02
	2	3,00E-03	5,30E-04	3,00E-05	4,44E+00	1,77E-01
	20	3,90E-02	7,20E-02	2,21E-06	1,60E+01	1,85E+00

3) Tracer la réflectivité d'un miroir en silicium en fonction de l'angle de rasage pour les 3 longueurs d'onde λ_{EUV} , λ_{SXR} et λ_{HXR} . Comparer les angles critiques obtenus en simulation avec les valeurs calculées à la question 2. Comment évolue l'angle critique avec la longueur d'onde ?

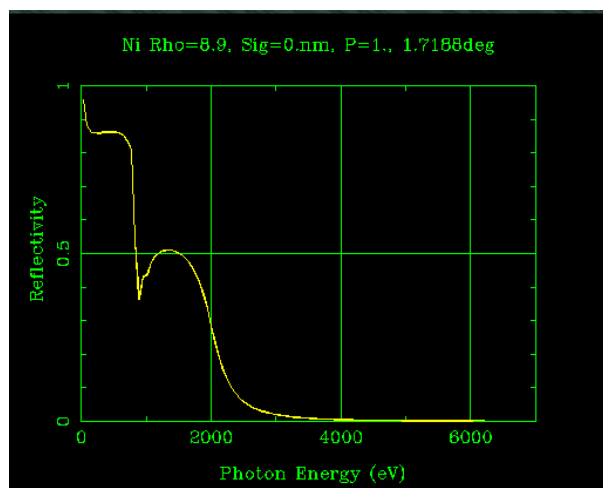
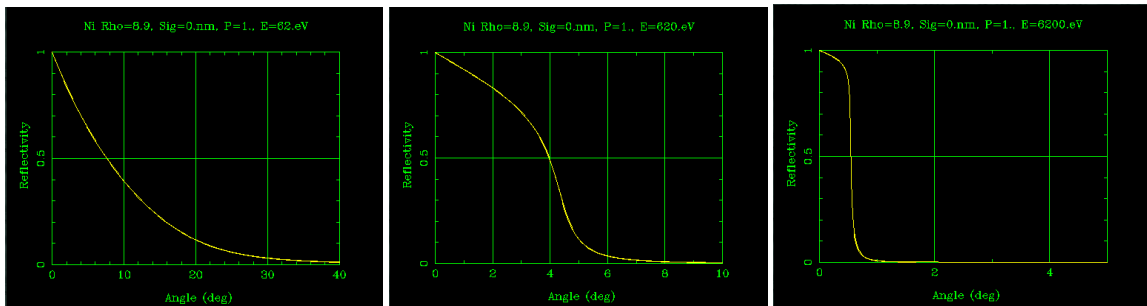


L'angle critique augmente avec la longueur d'onde.

4) Tracer l'évolution de la réflectivité de ce miroir en fonction de l'énergie des photons pour un angle de rasance de 30 mrad (*env. 1,788 deg*). Donner les valeurs de la réflectivité des miroirs pour les 3 longueurs d'onde λ_{EUV} , λ_{SXR} et λ_{HXR} .



5) Reprendre les questions 3 et 4 avec un miroir en nickel.



6) Quelle fonction de filtrage peut-on réaliser avec un miroir en réflexion totale ?

Passe-bas (en énergie)

7) Montrer que l'on peut réaliser un filtre passe-bande en associant ce composant avec un filtre en transmission (on choisira par exemple en filtre en aluminium de quelques μm d'épaisseur).

En associant un filtre d'aluminium de 15 microns (voir figure ci-dessous) avec un miroir en réflexion totale et en ajustant l'angle de rasance pour avoir une énergie critique autour de 2000 eV on obtient un filtre passe-bande entre environ 1200 et 1600 eV.

