

Analitikai és szerkezetvizsgálati labor

UV-Vis spektroszkópia

Szilágyi Imre Miklós, PhD

Egyetemi docens

BME Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék

Imre.szilagyi@mail.bme.hu

UV-Vis alapjai

- UV-Vis tartomány: távoli UV (10-200 nm), közeli UV (200-380 nm), Vis (380-780 nm) - a tartományok pontos határa forrásonként eltérő, pl. közeli UV kezdődhet 190 nm-nél, Vis végződik 780 nm-nél, stb.
- Molekulaabszorpció
- Gerjesztések: elsődleges elektron (kettős, hármas, aromás kötés, nemkötő elektronok főleg); mellette rezgés, forgás
- Sávós spektrum (gerjesztési átmenetek mellett kölcsönhatás oldószerrel is általában)
- Kromofór, auxokróm (bato-, hipo-, hiper-, hipszokróm eltolódás)
- Készülék
 - Fényforrás: deutérium (UV), W (Vis)
 - Fényfelbontó: szűrő (ritkán), monokromátor (optikai rács, prizma)
 - Mintatartó: kivetta különféle típusban, kvarc (UV egy részét átengedi), üveg, műanyag (csak Vis mérés)
 - Detektor: fotocella, fotodióda, fotoelektron sokszorozó, CCD
- Spektrométer típus: egy fényutas, két fényutas (egy v. két detektor)

UV-Vis alapjai

- Minőségi analízis: korlátozott széles elnyelési sávok miatt
- Mennyiségi analízis
- Bouguer-Lambert-Beer törvény, egy adott ($\lambda = \text{áll.}$) hullámhosszon, híg oldatokban

$$A = -\lg \frac{I_{tr}}{I_0} = -\lg T = \varepsilon \cdot l \cdot c$$

ahol

A (-)

abszorbancia

T (-, vagy %)

transzmittancia

I_t, I_0

az áteresztett (transzmittált) ill. a beeső fény intenzitása

c (mol/dm³)

koncentráció

l (cm)

optikai úthossz

ε (dm³·mol⁻¹·cm⁻¹)

moláris abszorpciós koefficiens

UV-Vis alapjai

- Az abszorbancia additív

$$A = \Sigma A_i = A_1 + A_2 + \dots + A_n = \varepsilon_1 \cdot l \cdot c_1 + \varepsilon_2 \cdot l \cdot c_2 + \dots + \varepsilon_n \cdot l \cdot c_n$$

Kétkomponensű elegy összetételének meghatározása:

Két olyan hullámhosszon (λ_1, λ_2) mérünk, ahol mindkét komponens elnyel:

1. Először meghatározzuk a tiszta komponensek moláris abszorpciós koefficienseit a két hullámhosszon ($\varepsilon_{11}, \varepsilon_{12}, \varepsilon_{21}, \varepsilon_{22}$),
2. Megmérjük az elegy abszorbanciáját a két hullámhosszon (A_1, A_2)
3. Megoldjuk a 2 db két ismeretlenes (c_1, c_2) egyenletet:

$$A_1 = \varepsilon_{11} \cdot l \cdot c_1 + \varepsilon_{12} \cdot l \cdot c_2$$
$$A_2 = \varepsilon_{21} \cdot l \cdot c_1 + \varepsilon_{22} \cdot l \cdot c_2$$

- Koncentráció meghatározása
 - Kalibráció
 - Standard addíció



korábban Eltérések a Bouguer-Lambert-Beer

törvénytől

- Valódi eltérések - a törvény korlátai miatt
 - A BLB törvény 10 mM alatti koncentráción működik jól. Efelett megváltozik a vizsgálat molekula kölcsönhatása az oldószerrel, más oldott molekulákkal.
 - Nagy analát koncentrációnál megváltozhat a molekula körül az oldatban a töltéseloszlás. Az UV-Vis elnyelés elektrongerjesztésen alapul, ezért ezt befolyásolhatja. Nagy elektrolit koncentrációnak is lehet ilyen hatása.
 - Megváltozhat az oldat törésmutatója
 - Hőmérséklet változása. Kisebb T-n élesebbek a sávok, kevesebb a rezgési, forgási átmenet. Sávmaximum kisebb hullámhosszak felé tolódik. Termikus zaj is számít a műszer egységeinél.
- Kémiai eltérések
 - Az analát és az oldószer kémiai kölcsönhatása miatt.
 - Pl. pH változás miatti szerkezetváltozás – sav-bázis indikátorok színváltozása

korábban Eltérések a Bouguer-Lambert-Beer

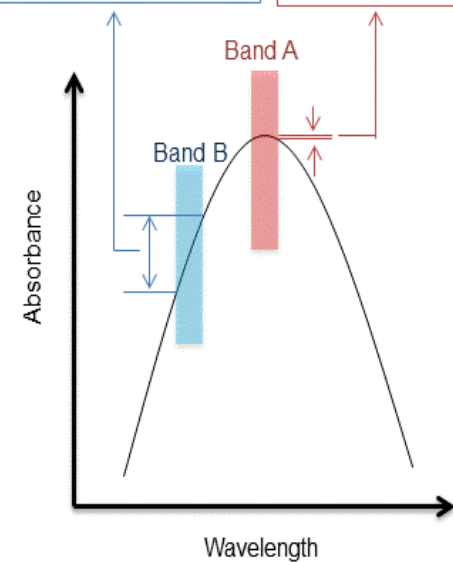
- Műszerezés miatti eltérések
- Polikromatikus sugárzás használata miatt – A BLB törvény által kapott görbe csak monokromatikus sugárzás esetén szigorúan lineáris
- Ha különböző az ϵ' és ϵ'' különböző λ' és λ'' esetén, akkor ezzel korrigálni kell (ha nagyon pontos mérést akarunk)
- Emiatt célszerű λ_{max} helyen mérni a koncentrációt.

törvényt

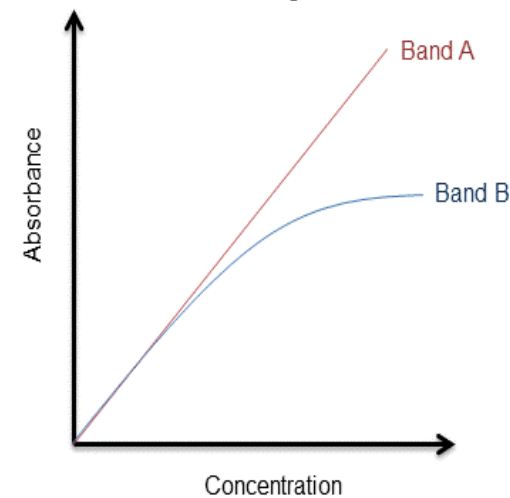
A

Large change in absorbance per unit change in wavelength

Minimal change in absorbance per unit change in wavelength



B



<https://pharmaxchange.info/2012/05/ultraviolet-visible-uv-vis-spectroscopy-%e2%80%93-limitations-and-deviations-of-beer-lambert-law/>

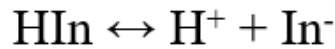


korábban Eltérések a Bouguer-Lambert-Beer törvénytől

- Műszerezés miatti eltérések
- Zavaró, szórt sugárzás miatt
 - Kis intenzitású szórt sugárzás lehet a műszerben, a mérendő hullámhossztól eltérő hullámhosszon. Ha az analát itt is elnyel, akkor ez zavarhatja a mérést.
 - Ennek eredete pl. szóródás tükrökön, rácsokon, lencséken, ablakokon, szűrőkön
- Eltérő méretű kuvetták, mérőcellák miatt
 - Kicsit eltérő lesz az optikai úthossz

Egyensúlyi állandó meghatározása- laborban

Az indikátor (mint gyenge sav) disszociációs egyensúlya:



Egy λ =áll. hullámhosszon, ahol mindkét forma elnyel valamilyen mértékben, három pH értéknél mérünk:

1. $\text{pH}_1 = 0$ (erősen savas közeg): itt az indikátor (gyenge sav) nem disszociál, csak **HIn** formában van jelen, melynek elnyelése:

$$A_{\text{HIn}} = \varepsilon_{\text{HIn}} \cdot l \cdot c$$

Ebből ismert c konc. oldat esetén ε_{HIn} meghatározható.

2. $\text{pH}_2 = 14$ (erősen lúgos közeg): itt az indikátor (gyenge sav) teljesen disszociál, csak **In⁻** formában van jelen, melynek elnyelése:

$$A_{\text{In}} = \varepsilon_{\text{In}} \cdot l \cdot c$$

3. $\text{pH}_3 \sim \text{pK}_i$ környékén: az indikátor részlegesen disszociál, mindkét forma jelen van, melynek elnyelése:

$$A = A_{\text{HIn}} + A_{\text{In}} = \varepsilon_{\text{HIn}} \cdot l \cdot c_{\text{HIn}} + \varepsilon_{\text{In}} \cdot l \cdot c_{\text{In}}$$

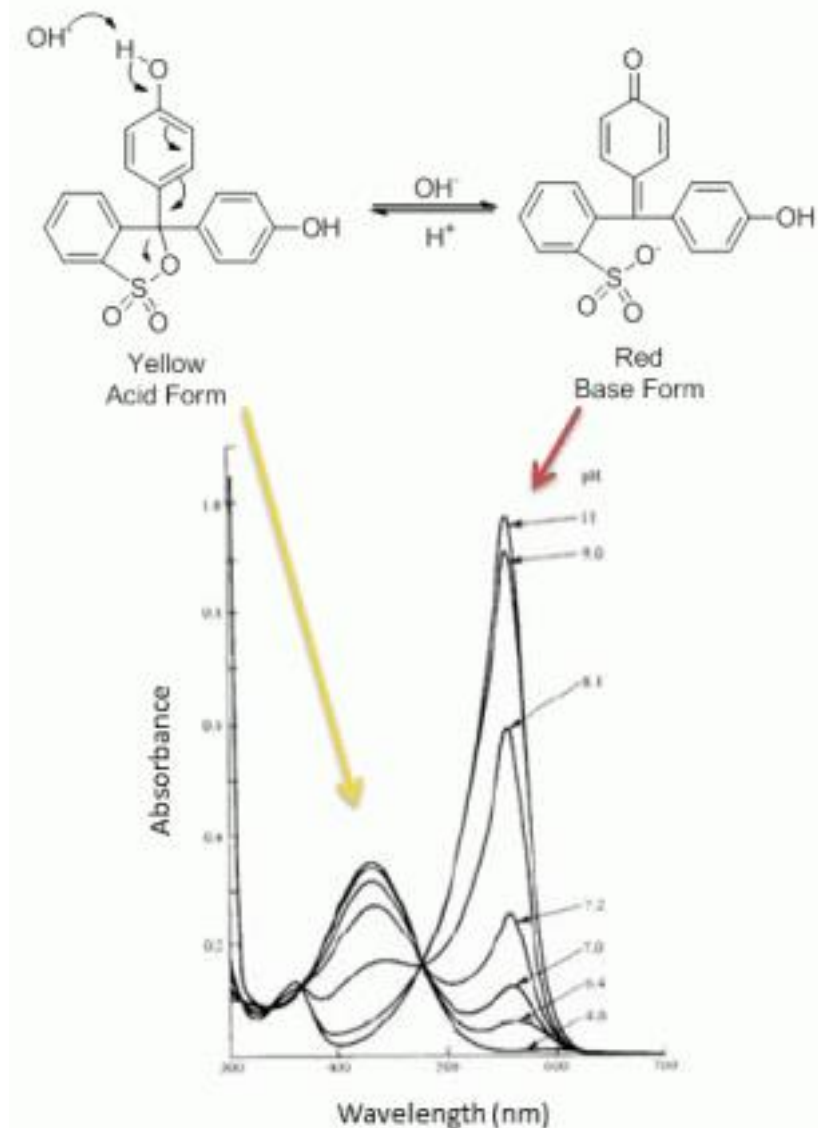
mivel: $c = c_{\text{HIn}} + c_{\text{In}}$, a két egyenletből c_{HIn} és c_{In} számítható.

Az egyensúlyi állandó:

$$K_i = (\text{H}^+) \cdot (\text{In}^-) / (\text{HIn}) = 10^{-\text{pH}_3} \cdot c_{\text{In}} / c_{\text{HIn}}$$

Izobesztikus pont szerves szerk fel

- Két egyensúlyi forma spektrumának metszéspontja
- Az izobesztikus pont hullámhosszán a disszociált és disszociálatlan formák moláris abszorpciós koefficiense megegyezik.
- Fenol vörös festék UV-Vis spektruma a pH függvényében
- Minden pH-n ugyanolyan az elnyelés ezen a hullámhosszon
- Ezen a hullámhosszon célszerű mennyiségi mérést végezni

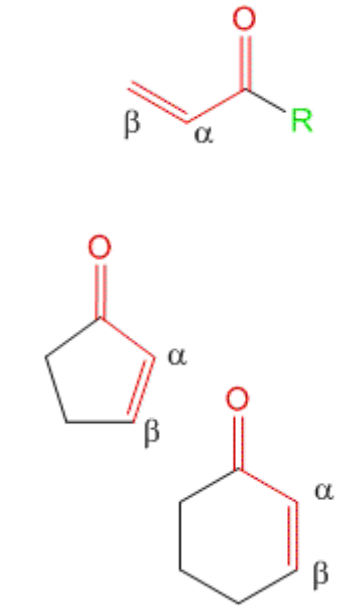
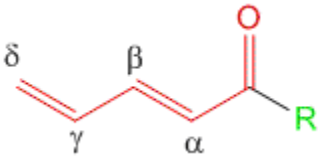


<https://pharmaxchange.info/2012/05/ultraviolet-visible-uv-vis-spectroscopy-%e2%80%93-limitations-and-deviations-of-beer-lambert-law/>

UV-Vis spektrum számítási szabályok – szerves

- Woodward-Fieser szabályok konjugált szénvegyületek λ_{max} értékének számítása
- $\lambda_{max} = \text{alapérték} + \Sigma \text{szubsztituens hozzájárulások} + \Sigma \text{egyéb hozzájárulások}$
- Szabályok konjugált diének és poliének illetve telítetlen karbonil vegyületek részére

szerkezetfelderítésben említették??

Class	Chromophore	Influence to λ_{max}
Core Chromophore Base Value		
	If R = -H (α,β -unsaturated aldehyde)	+ 210 nm
	If R = -Alkyl (α,β -unsaturated ketone)	+ 215 nm
	If R = -OR (α,β -unsaturated ester)	+ 195 nm
	Cyclopentenone	+ 202 nm
	Cyclohexenone	+ 215 nm
	If R = -H ($\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -diene aldehyde)	+210 + 30 = +240 nm
	If R = -Alkyl ($\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -diene ketone)	+215 + 30 = +245 nm
	If R = -OR ($\alpha,\beta,\gamma,\delta$ -diene ester)	+195 + 30 = +225 nm

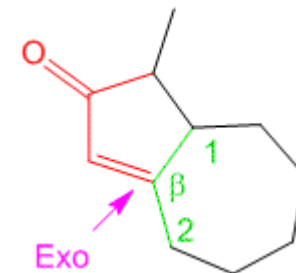
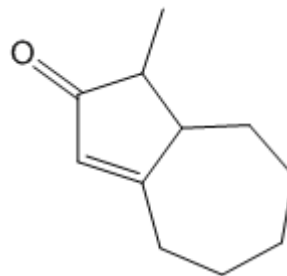
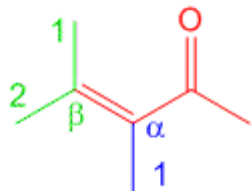
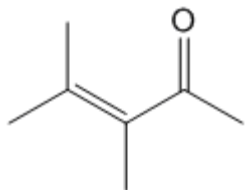
<https://pharmaxchange.info/2012/08/ultraviolet-visible-uv-vis-spectroscopy-%e2%80%93-woodward-fieser-rules-to-calculate-wavelength-of-maximum-absorption-lambda-max-of-conjugated-carbonyl-compounds/>

UV-Vis spektrum számítási szabályok

Substituent Effects at α -position	-R (Alkyl group)	+ 10 nm	Substituent Effects at γ and δ -position	-R (Alkyl group) (both γ and δ)	+ 18 nm
	-OR (Alkoxy group)	+ 35 nm		-OC(O)R (Acyloxy/Ester) (both γ and δ)	+ 6 nm
	-Cl (Chloro group)	+ 15 nm		-Cl (Chloro) (both γ and δ)	+ 12 nm
	-Br (Bromo group)	+ 25 nm		-Br (Bromo) (both γ and δ)	+ 30 nm
	-OH (alcohol/hydroxyl)	+ 35 nm		-OH (alcohol/hydroxyl group) (only γ)	+ 50 nm
	-OC(O)R (Acyloxy/Ester)	+ 6 nm		-OR (Alkoxy group) (only γ)	+ 30 nm
Substituent Effects at β -position	-R (Alkyl group)	+ 12 nm	Further π -conjugation	- C=C (double bond extending conjugation)	+ 30 nm
	-OR (Alkoxy group)	+ 30 nm		- C ₆ H ₅ (Phenyl group)	+ 60 nm
	-Cl (Chloro group)	+ 12 nm	Other Contributors	Exocyclic Double Bond	+ 5 nm
	-Br (Bromo group)	+ 30 nm		Homoannular cyclohexadiene	+ 35 nm
	-OH (alcohol/hydroxyl)	+ 30 nm		Solvent Effects	
	-OC(O)R (Acyloxy/Ester)	+ 6 nm		1] Water	- 8 nm
	-SR (Sulfide)	+ 85 nm		2] Methanol/Ethanol	- 1 nm
	-NR ₂ (Amine)	+ 95 nm		3] Ether	+ 6 nm
				4] Hexane / Cyclohexane	+ 7 nm

[rules-to-calculate-wavelength-of-maximum-absorption-lambda-max-of-conjugated-carbonyl-compounds/](https://www.researchgate.net/publication/312111111/rules-to-calculate-wavelength-of-maximum-absorption-lambda-max-of-conjugated-carbonyl-compounds/)

UV-Vis spektrum számítási példák

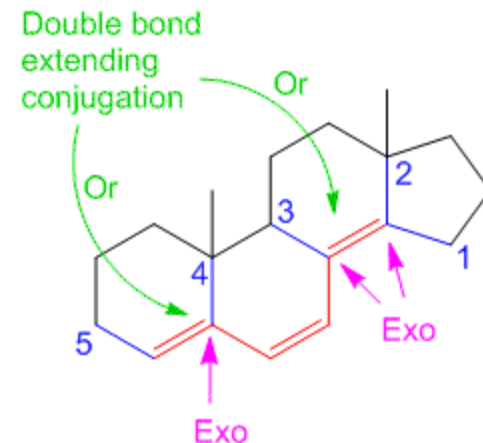
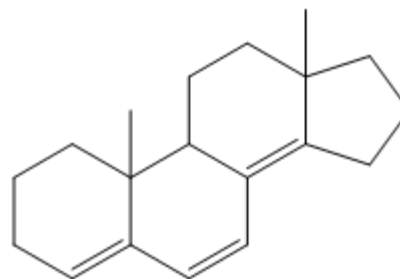
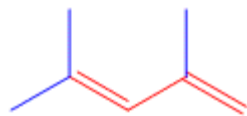
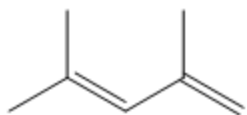


Name of Compound	3,4-dimethylpent-3-en-2-one
Component	Contribution
Core- α,β -unsaturated ketone	+ 215 nm
Substituents at α -position- 1 alkyl group	+ 10 nm
Substituents at β -position- 2 alkyl groups	2 x 12 = 24 nm
Other Effects	0
Calculated λ_{\max}	249 nm
Observed λ_{\max}	249 nm

Name of Compound	1-methyl-4,5,6,7,8,8a-hexahydroazulen-2(1H)-one
Component	Contribution
Core- cyclopentenone	+ 202 nm
Substituents at α -position	0
Substituents at β -position- 2 alkyl groups	2 x 12 = + 24 nm
Other Effects- 1 Exocyclic Double Bond	+ 5 nm
Calculated λ_{\max}	231 nm
Observed λ_{\max}	226 nm

<https://pharmaxchange.info/2012/08/ultraviolet-visible-uv-vis-spectroscopy-%e2%80%93-sample-problems-using-woodward-fieser-rules/>

UV-Vis spektrum számítási példák



Name of Compound	2,4-dimethylpenta-1,3-diene
Woodward Component	Contribution
Core- Transoid/Heteroannular Diene	+ 215 nm
Substituents- 3 alkyl groups	3 x 5 = + 15 nm
Other Effects	0
Calculated λ_{\max}	230 nm
Observed λ_{\max}	234 nm

Name of Compound	10,13-dimethyl-2,3,9,10,11,12,13,15,16,17-decahydro-1H-cyclopenta[a]phenanthrene
Woodward Component	Contribution
Core- Transoid/Heteroannular	+ 215 nm
Substituents - 5 alkyl groups 1 Double bond extending conjugation	5 x 5 = + 25 nm + 30 nm
Other Effects- 3 Exocyclic Double Bond	+ 15 nm
Calculated λ_{\max}	285 nm
Observed λ_{\max}	283 nm

<https://pharmaxchange.info/2012/08/ultraviolet-visible-uv-vis-spectroscopy-%e2%80%93-sample-problems-using-woodward-fieser-rules/>

Optikai kábeles készülék – új fluorimetria

- Fix fényutas készülék alternatívája

ugyanazzal a készülékkal, színmérés, alkalmazások

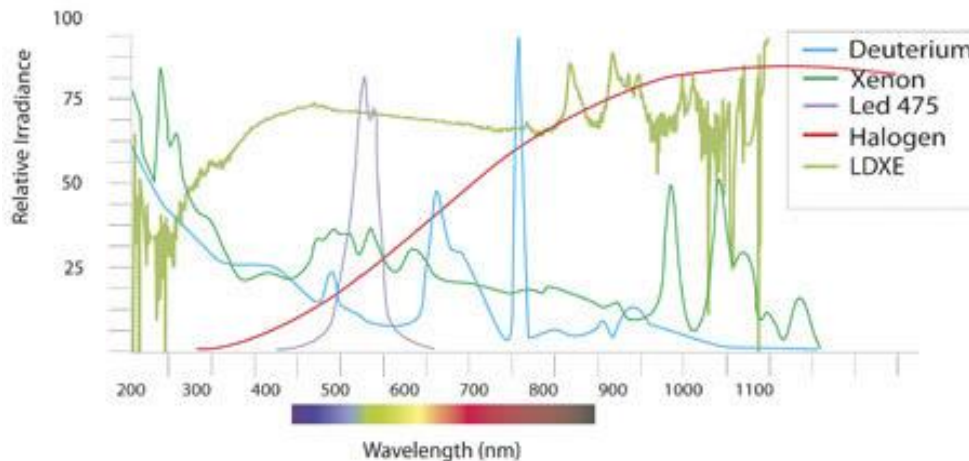


www.avantes.com

Optikai kábeles készülék

- Fényforrás

Application	Wavelength Range	Type	Principle
Color / VIS / NIR	360-2500 nm	Tungsten Halogen	Continuous
DUV	190-400 nm	Deuterium	Continuous
UV	215-400 nm	Deuterium	Continuous
UV/VIS/NIR refl./abs.	215-2500 nm	Deuterium/Halogen	Continuous
UV/VIS/NIR absorption	200-2500 nm	Deuterium/Halogen	Continuous
UV/VIS	200-1000 nm	Xenon	Pulsed
Fluorescence	Multiple possible	LED	Continuous



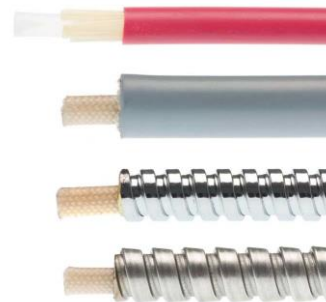
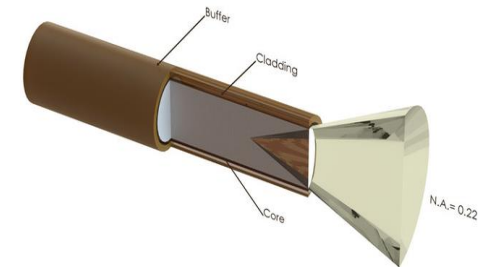
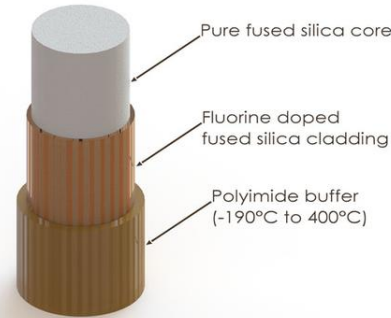
www.avantes.com

Optikai kábeles készülék

- Optikai kábel: a fény teljes visszaverődéssel halad (mag: 50-1000 μm)



Fiber Design



Standard

Stainless steel spiral jacket with glassilk and gray outer silicon rubber coating

Flexible chrome-plated brass outer jacket, with hooked profile

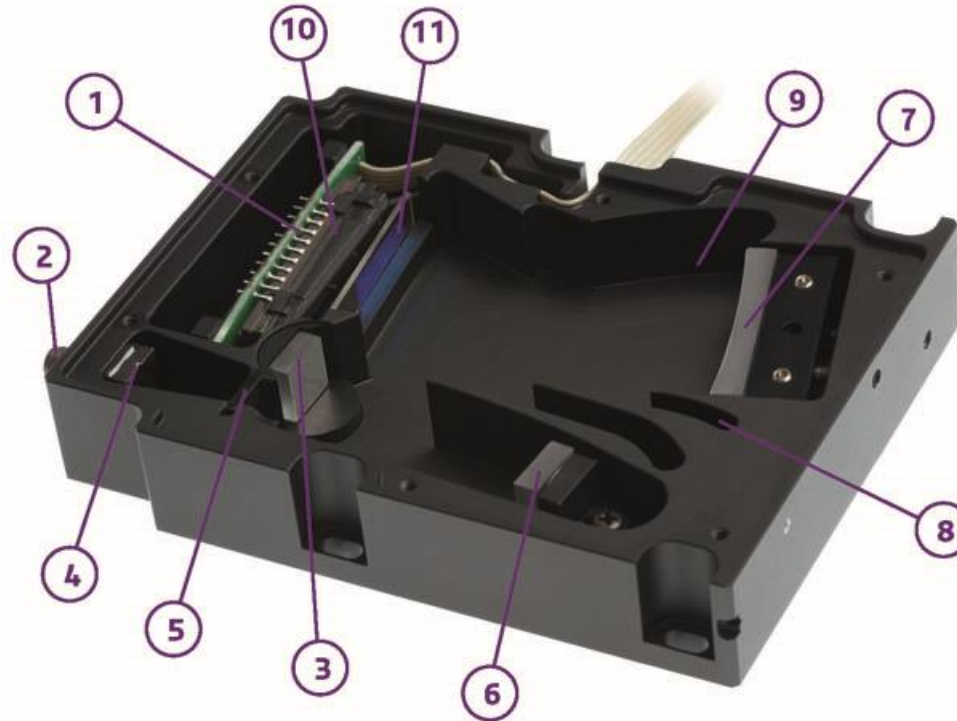
Metal stainless steel jacket, with fully interlocking profile

[<http://www.oceanoptics.com/Products/reflectionprobes.asp>]

www.avantes.com

Optikai kábeles készülék

- Készülék



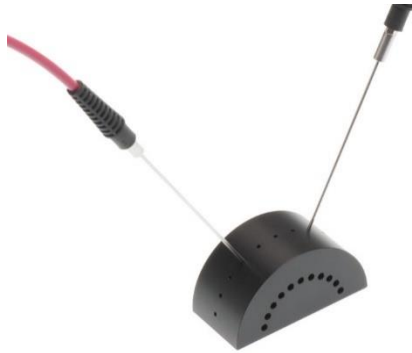
Avaspec-ULS Optical Bench Design: Symmetrical Czerny-Turner

- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1. Detector | 7. Focusing mirror |
| 2. SMA Connector | 8. CPC light traps |
| 3. Grating | 9. CPC light traps |
| 4. Slit, mode stripper | 10. DCL-UV/VIS |
| 5. 2nd mode stripper | 11. OSC-filter |
| 6. Collimating mirror | |

www.avantes.com

Szilárd minták vizsgálata

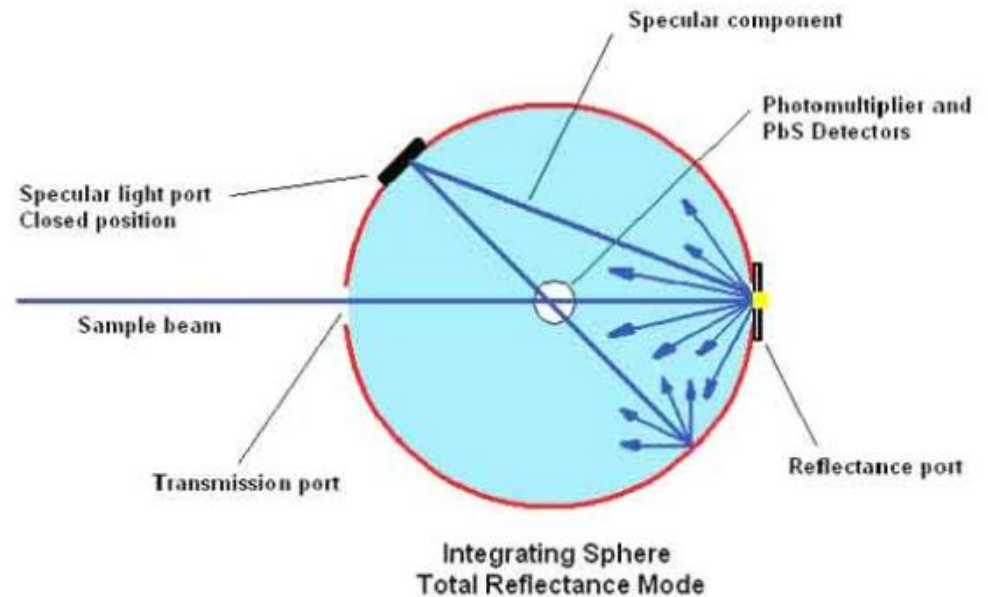
- DRS (Diffuse reflectance UV-VIS spectroscopy) - optikai kábellel vagy integráló gömbbel



www.avantes.com



[<http://www.oceanoptics.com/Products/reflectionprobes.asp>]

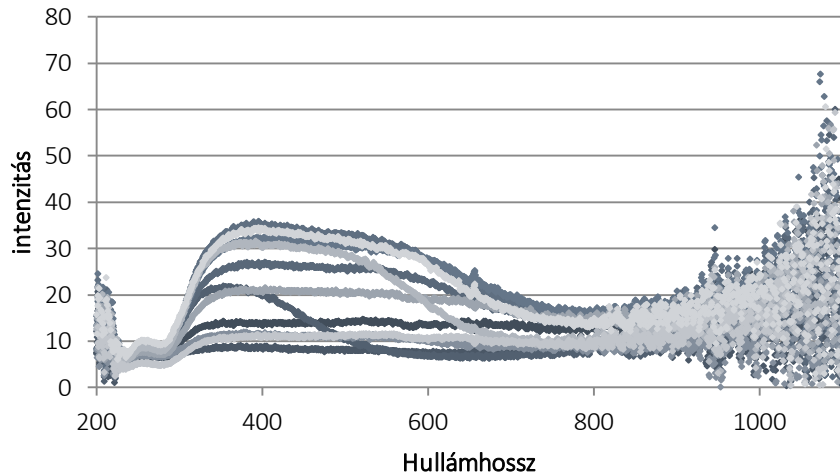


[http://shop.perkinelmer.com/NR/rdonlyres/DA3DA7CB-7171-45C7-966F-9C5AEE521AFC/2304/fig_7.jpg]

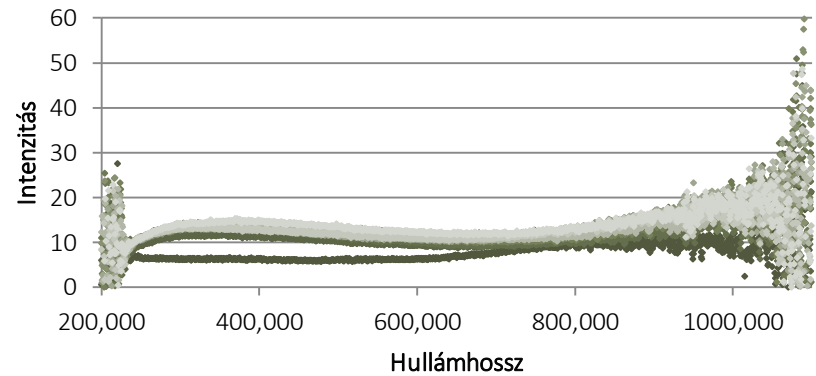
Szilárd minták vizsgálata

- Szajkó madártollra Al_2O_3 atomi réteg leválasztással (ALD-vel)

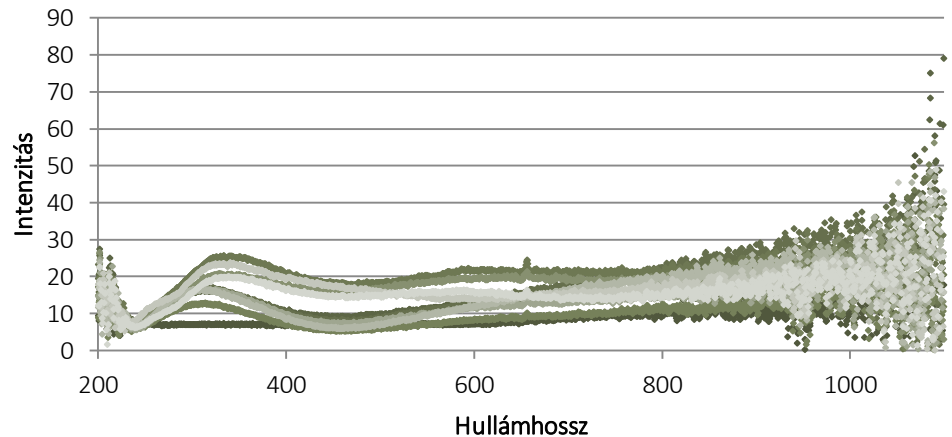
Szajkótoll ALD előtt



Szajkótoll 50nm ALD után



Szajkó 150nm ALD után

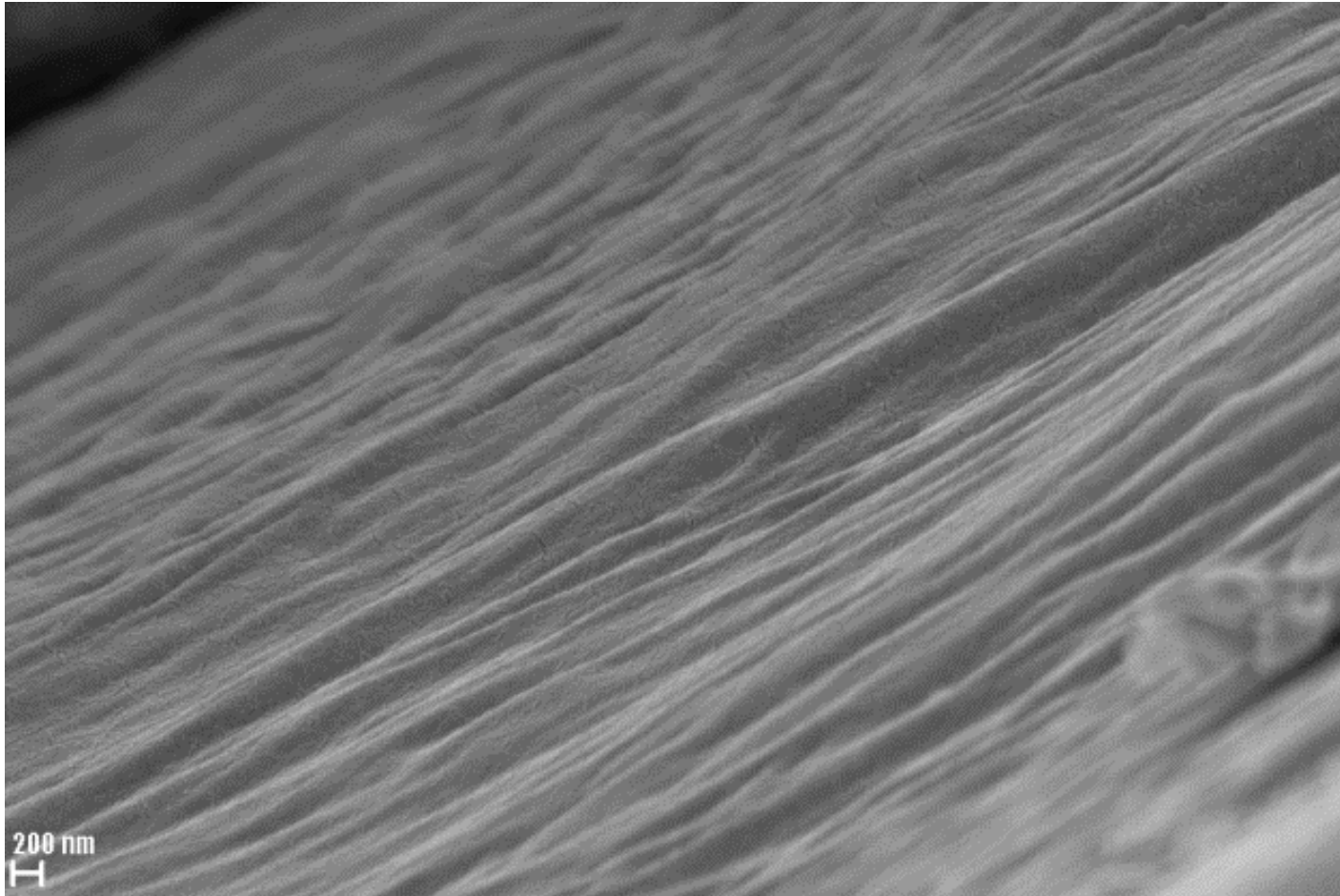


<https://egzotikusmadarak.hu/szajko/>

[Szilágyi et al. unpublished results; Gáber Fanni – BSc Szakdolgozat 2014]

Szilárd minták vizsgálata

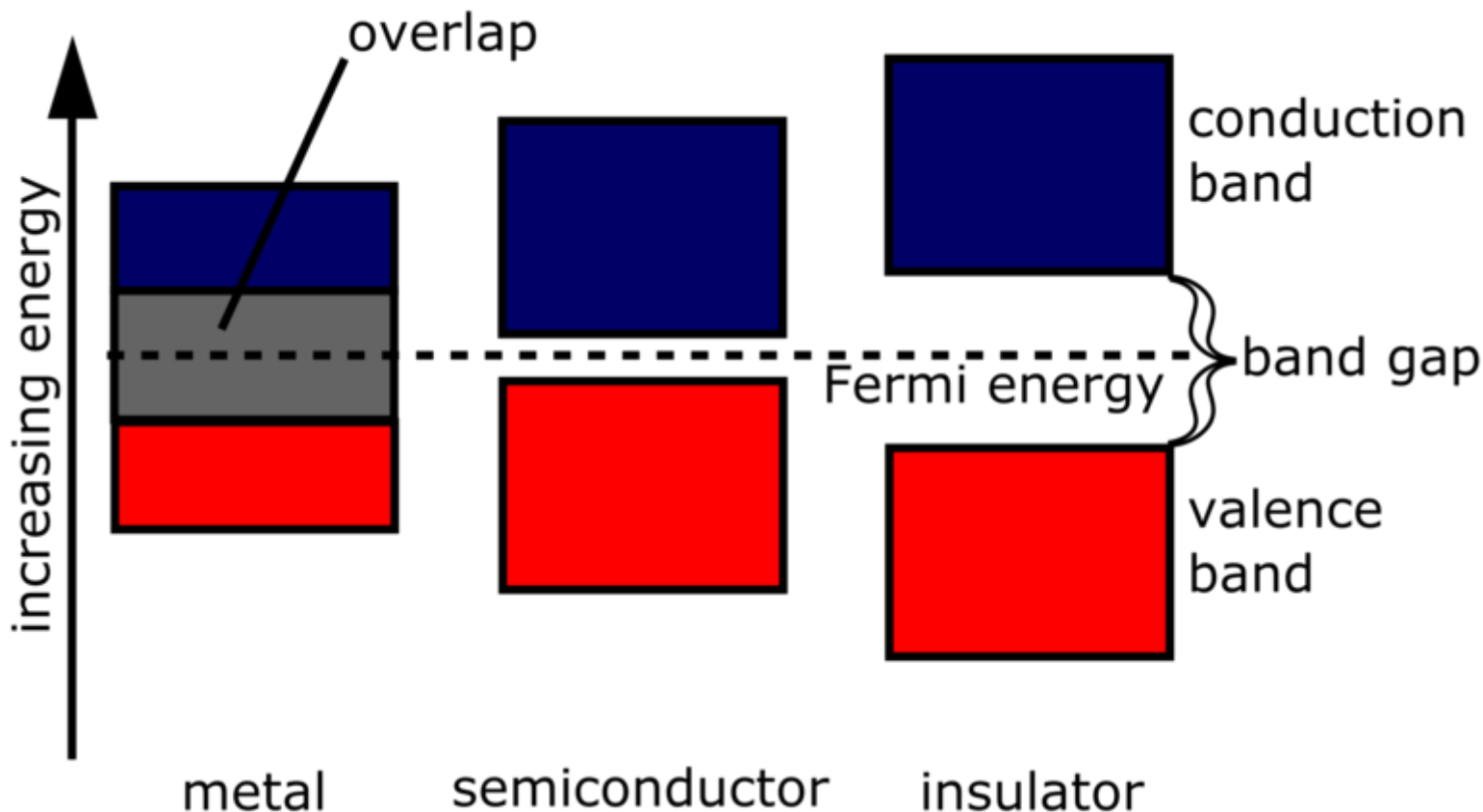
- Szajkó madártollra Al_2O_3 ALD-vel
- SEM felvétel a szajkó felületi nanostruktúráiról



[Szilágyi et al. unpublished results; Gáber Fanni – BSc Szakdolgozat 2014]

Félvezetők vizsgálata- Általános kémiában volt

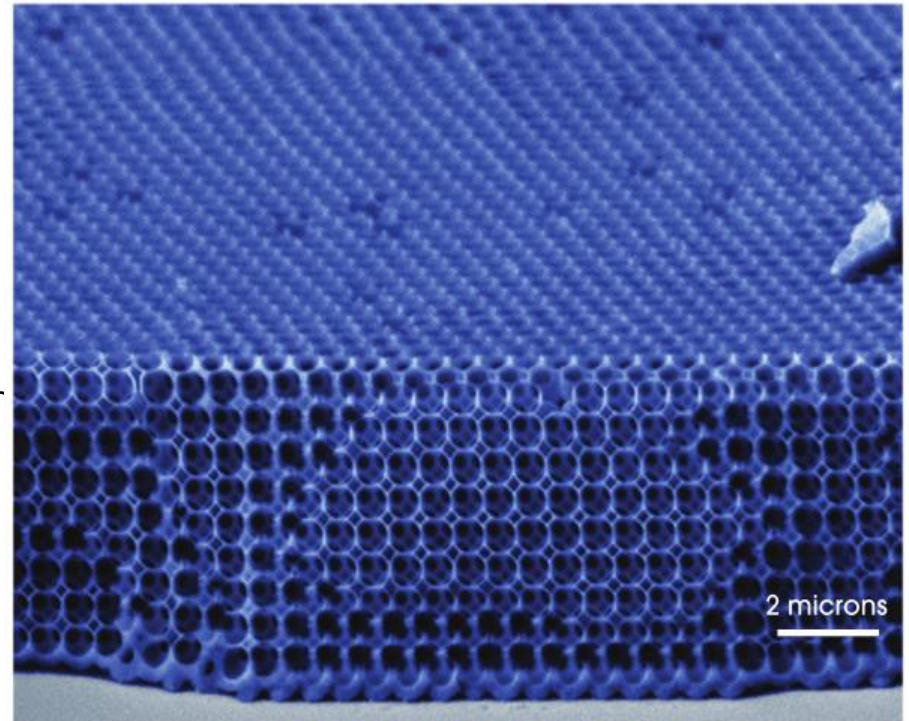
- Félvezetők elektronszerkezete



https://energyeducation.ca/encyclopedia/Band_gap

Félvezetők vizsgálata

- Optikai félvezetők
- Inverz opál szerkezetek: nagy dielektromos állandójú közeg (félvezető), szabályozott méretű üregek periodikusan (1, 2, 3 dimenziós)
- Optikai félvezetők, fotonikus tiltott sáv: lassú foton hatás
- Top-down:
 - Tömbi anyagból
- Bottom-up:
 - Kolloidális önszerveződés: kolloid kristály
 - Hézagok kitöltése: atomi réteg leválasztás (atomic layer deposition - ALD)
 - Templát eltávolítása
- Alkalmazási lehetőségek:
 - Fotokatalízis
 - Optikai szenzorok és kapcsolók
 - Napelemek



Szilícium inverz opál

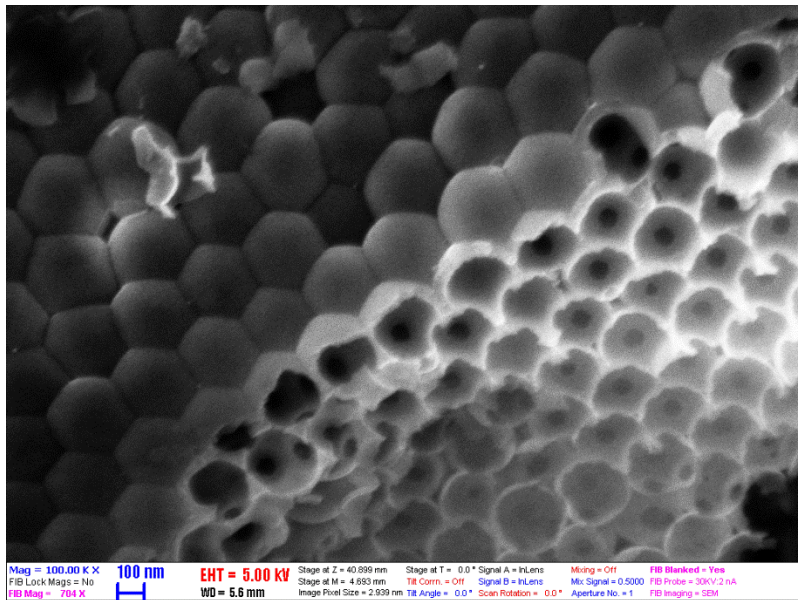
Joannopoulos J D et al, 2008 *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*

Félvezetők vizsgálata

- Optikai félvezetők

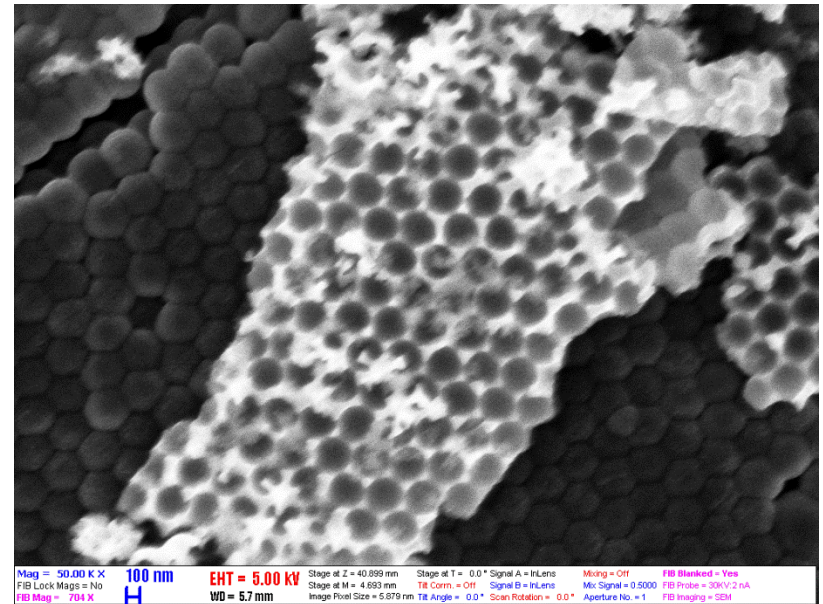
Szén gömbből

TiO₂ inverz opál (Carbon sphere
originated inverse opal – CSIO)
– 300 nm



Polisztirol gömbből

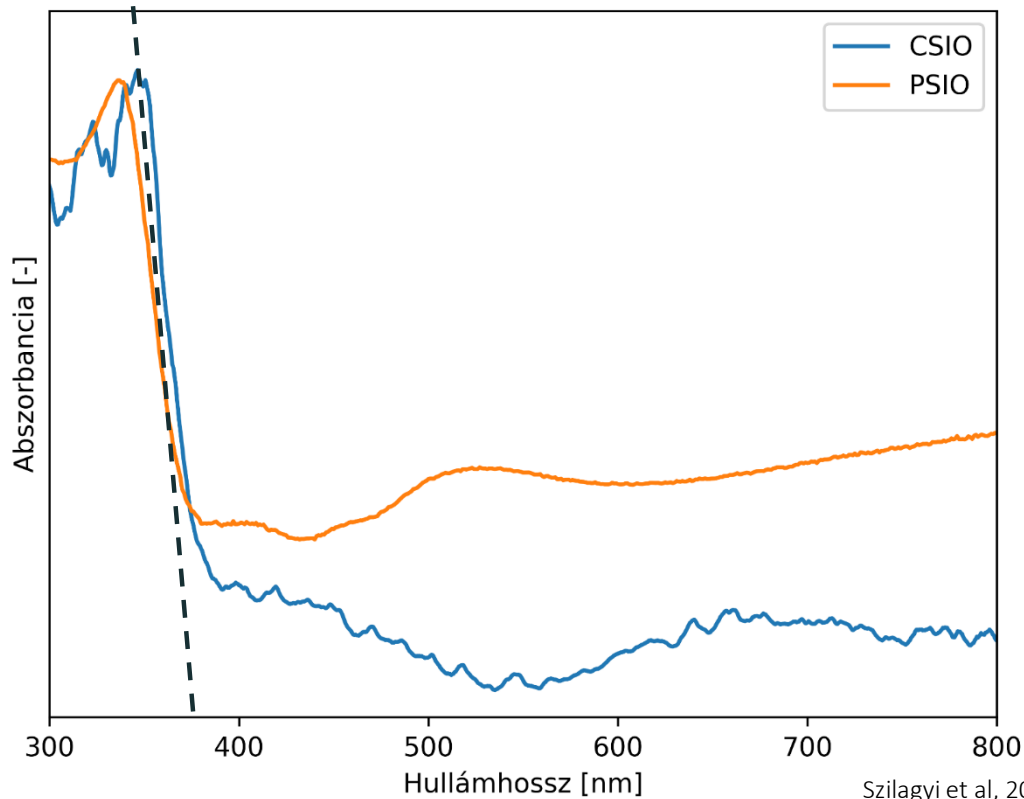
TiO₂ inverz opál (Polystyrene sphere
originated inverse opal – PSIO)
– 458 nm



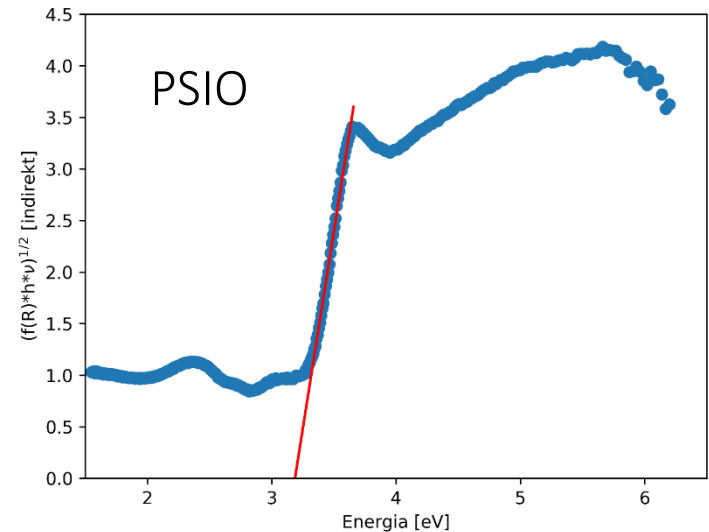
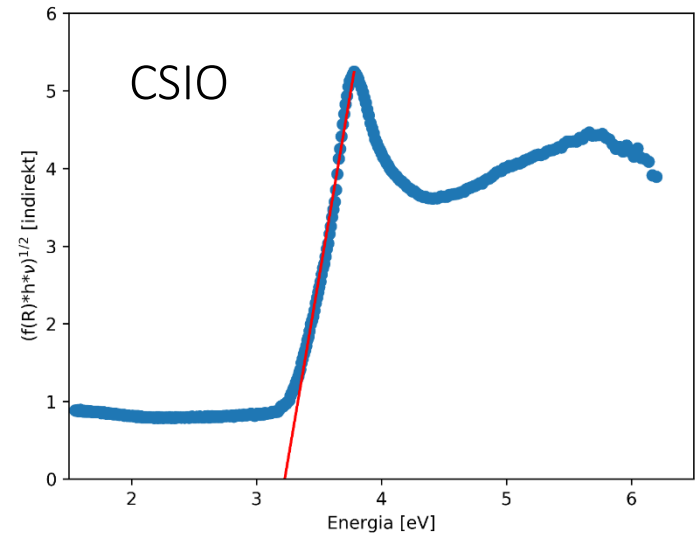
Szilágyi et al, 2019

Félvezetők vizsgálata

- Tiltott sáv meghatározása UV-Vis méréssel
- Abszorpciós él
- Kubelka-Munk (Tauc) ábrázolás
- Tiltott sáv szélessége kb. 3,2 eV

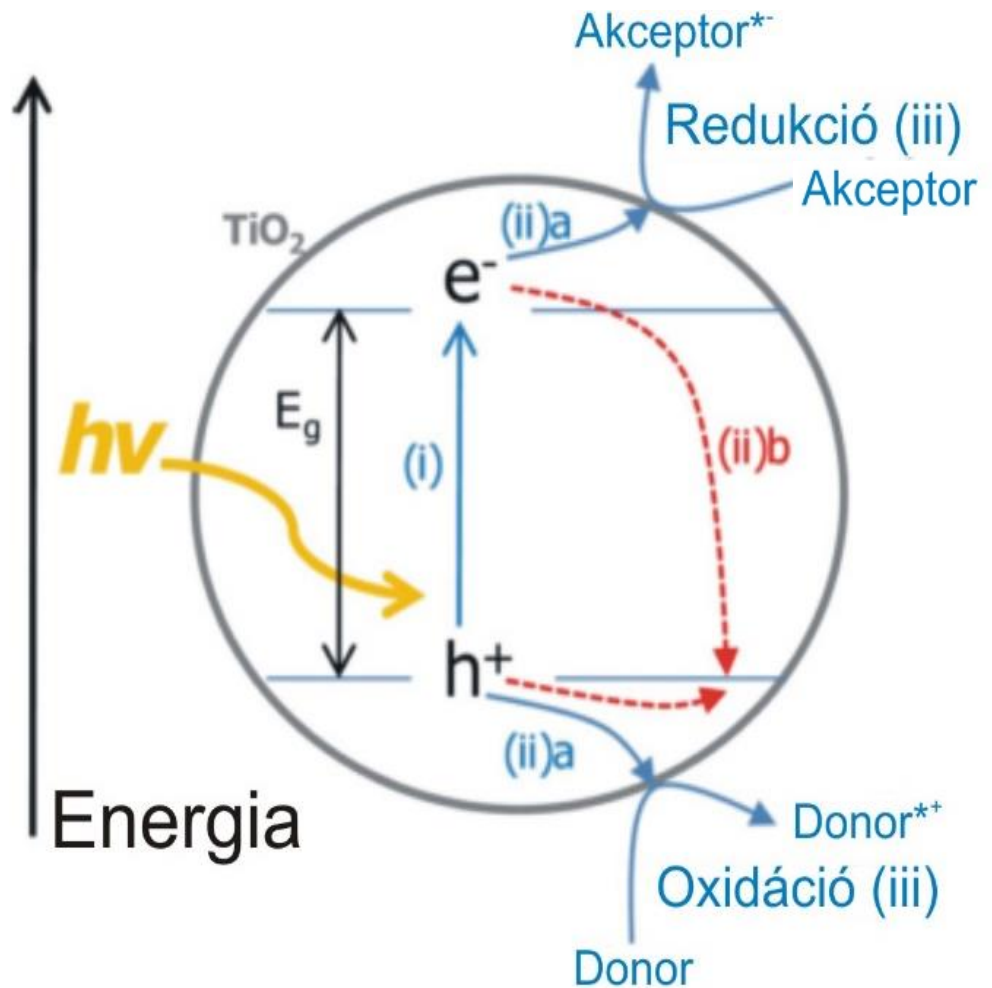


Szilágyi et al, 2019



Fotokatalízis

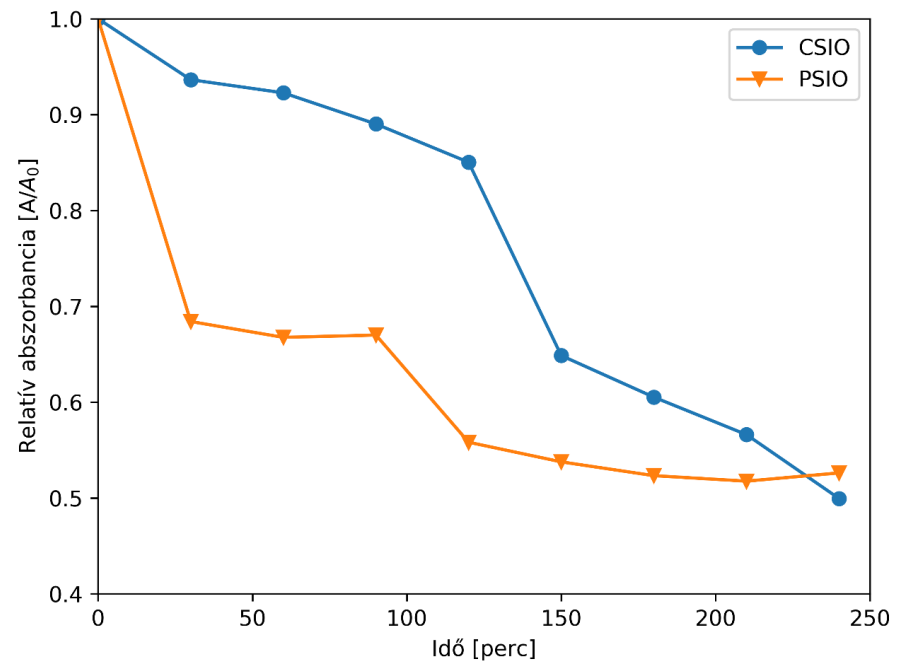
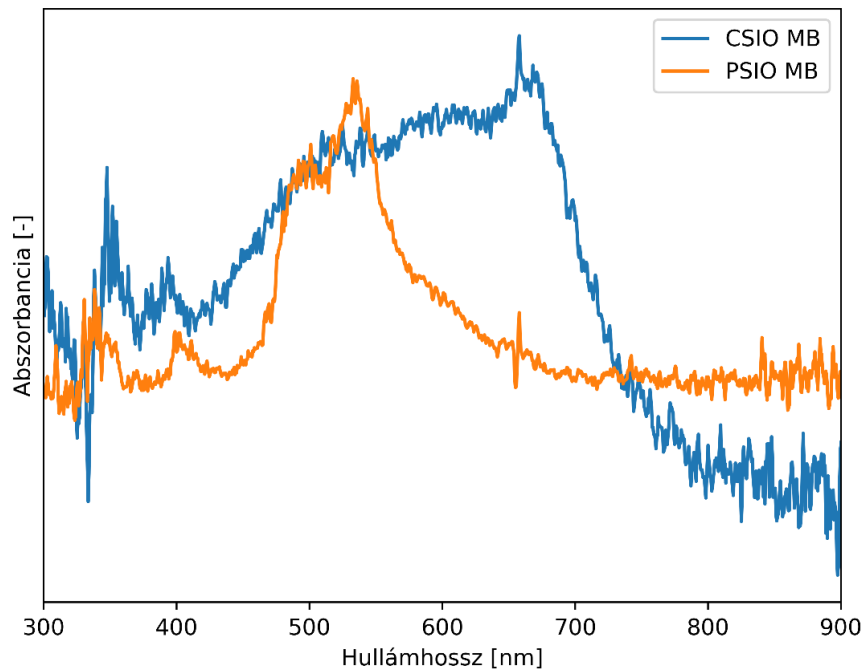
- Foton abszorpció után elektron-lyuk pár félvezetőben, ami hidroxid és szuperoxid gyökön keresztül kémiai reakciókat katalizál
- Szennyezők lebontása vízben, felületen, levegőben
- Vízbontás, hidrogén fejlesztés
- Szerves szintézis
- Mesterséges fotoszintézis
- UV és/vagy Vis megvilágítás
- Nyomonkövetés: pl. festék bomlása UV-Vis-sel (HPLC, stb.)



Leary, R. et al Carbon N. Y. 2011, 49 (3), 741–772.

Fotokatalízis

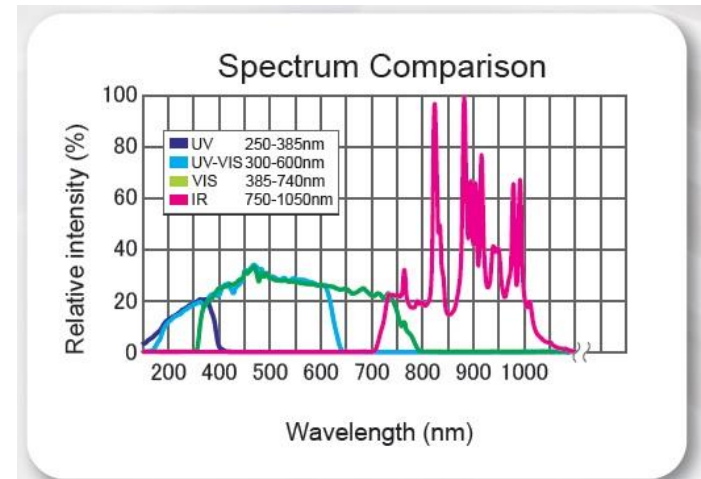
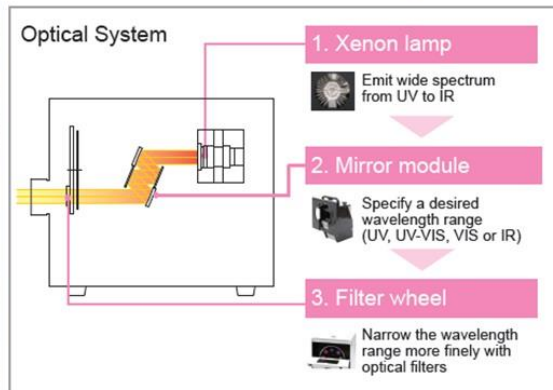
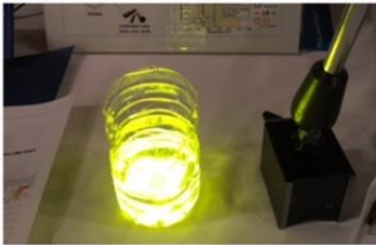
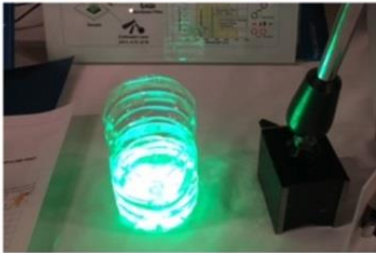
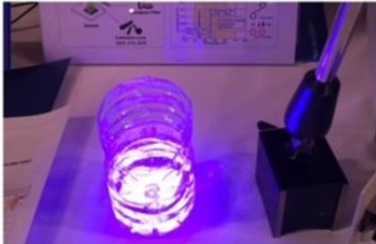
- Metilénkék oldat rászárítva az inverz opál mintákra
- Metilénkék λ_{max} helye 648 nm, PSIO mintán dimerizáció és λ_{max} eltolódás
- UV megvilágítás
- Bomlás nyomonkövetése UV-Vis reflexiós méréssel



Szilágyi et al, 2019

Lámpák kémiai reakciókhoz

- Fix hullámhossz tartomány – lámpacsere vagy szűrőkkel adott tartomány kiválasztása
- Hangolható hullámhossz tartomány



www.asahi-spectra.com

Rétegvastagság

- Átlátszó hordozó és film: transzmittancia
- Nem átlátszó film és hordozó: reflektancia
- Egy és több rétegű filmek
- Film porozitás meghatározás

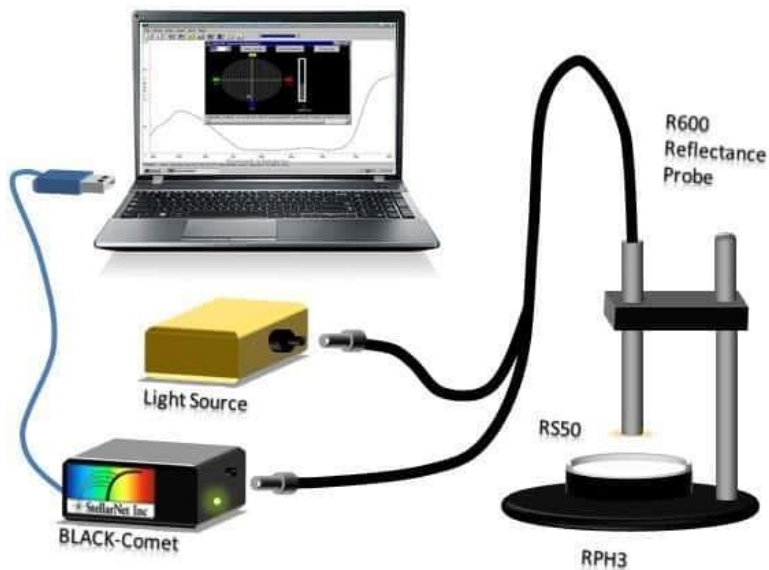
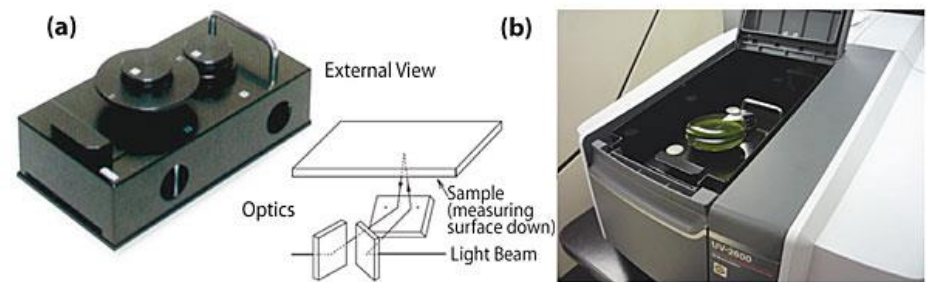
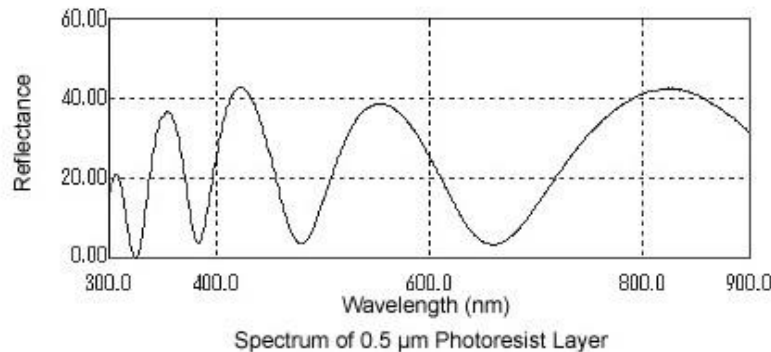
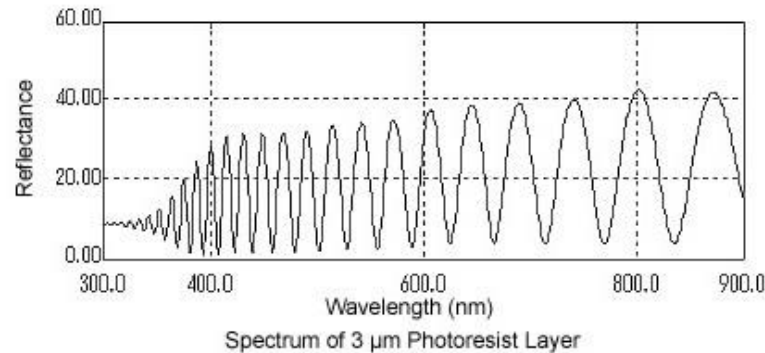


FIGURE 2 » (a) Relative specular reflectance accessory (5°) and external view of light beam path with accessory in place; (b) Relative specular reflectance accessory (5°) sitting in UV-2600 sample compartment with acrylic lens in place.



Rétegvastagság – UV-VIS reflektometria

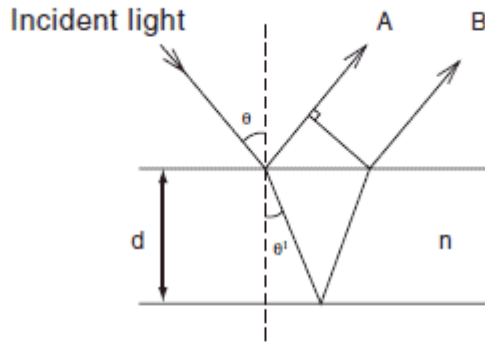
- UV-VIS reflektancia spektrum felvétele
- Szimulált spektrum számolása
- Számítási paraméterek: film, szubsztrát, levegő törésmutatója (n), filmvastagság (d), extinkciós koefficiens (k)
- Iteráció: n , d , k változtatása, amíg a szimulált és mért spektrum egyezik



[<http://shimadzu.com/an/industry/electronicselectronic/qn5042000001nbd-img/qn50420000028bn.jpg>]

Rétegvastagság – UV-VIS reflektometria

- UV-VIS reflektancia spektrum felvétele



Optical path difference between A and B = $(\lambda/2) \times 2m \rightarrow$ Reinforce
 Optical path difference between A and B = $(\lambda/2) \times (2m + 1) \rightarrow$ Cancel out
 λ : Wavelength m : Integer

Fig.1 Principle of Interference

$$d = \frac{\Delta m}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \times \frac{1}{\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)} \dots \dots (1)$$

"d" filmvastagság, " Δm " csúcsok szám a tartományban, "n" törésmutató, " λ_1 " és " λ_2 " tartomány határok

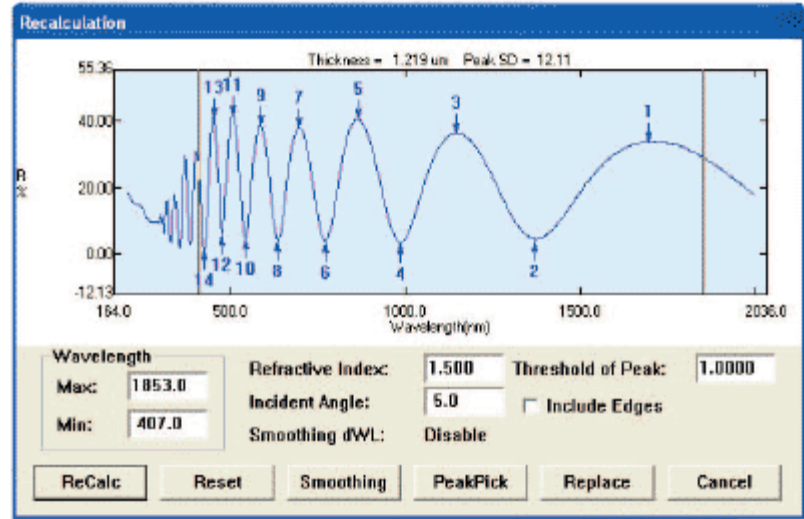


Fig.2 Recalculation Window of Shimadzu Film-Thickness Software

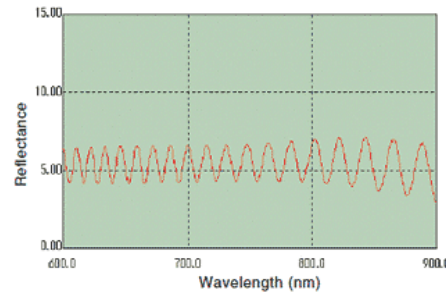


Fig.3 Film Thickness: 10 μ m (Polyvinylidene Chloride Film)

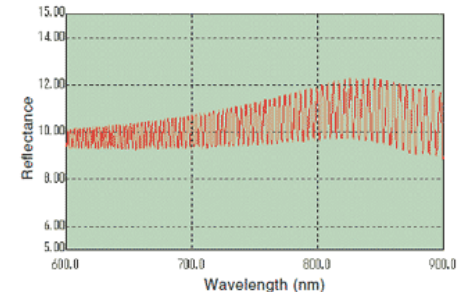


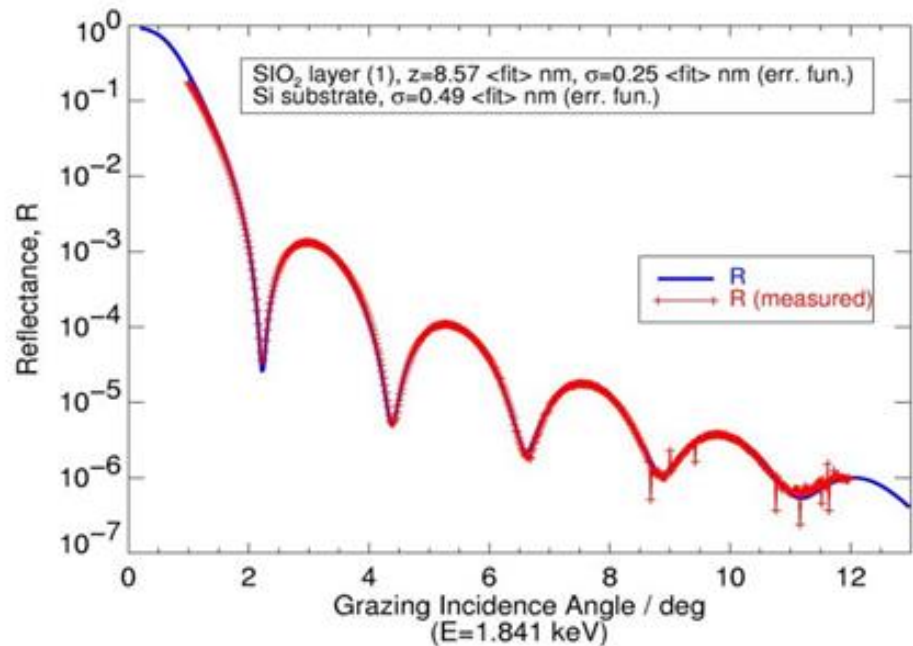
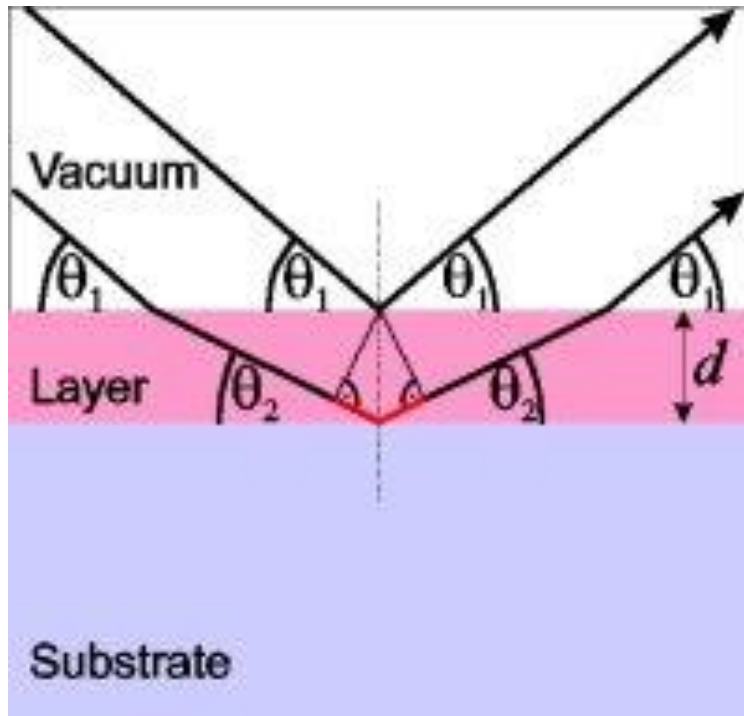
Fig.4 Film Thickness: 46 μ m (Polycarbonate Film)

<https://www.shimadzu.com/an/uv/support/uv/ap/film.html>



Rétegvastagság - XRR

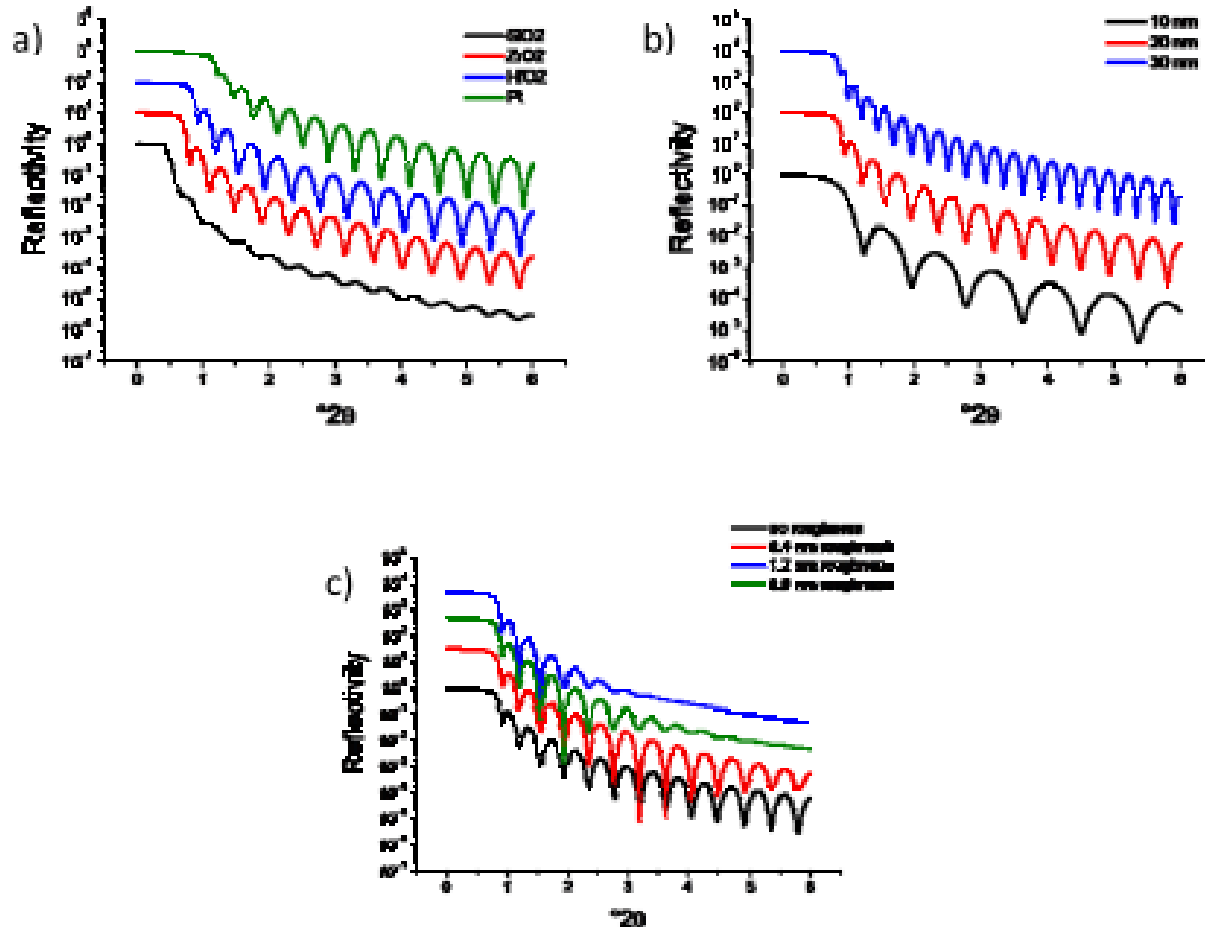
- XRR (X-ray reflectometry)
- Elve: A szubsztrátról és a rajta lévő filmről visszaverődik az XR sugár, a két visszavert sugár között interferencia lép fel, és emiatt oszcilláció lesz a mért XRR görbén



[<http://www.ptb.de/en/fachabteilungen/struktur.html>]

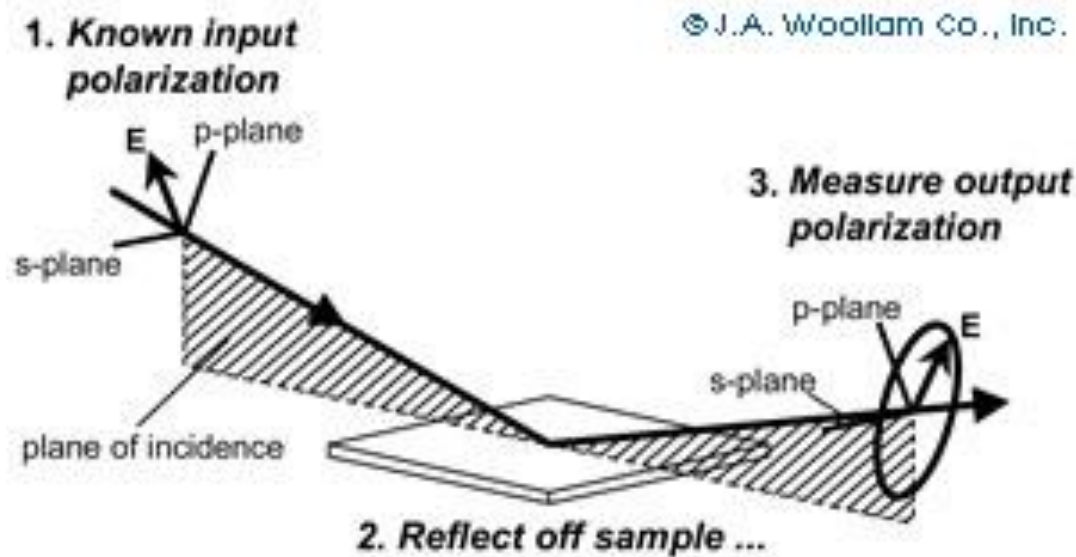
Rétegvastagság - XRR

- Oszcilláció amplitúdója függ a felület sűrűségétől és érdességétől
- Oszcilláció periódusa függ a felület vastagságától
- Ált. 1-200 nm vastag film meghatározása iterációval

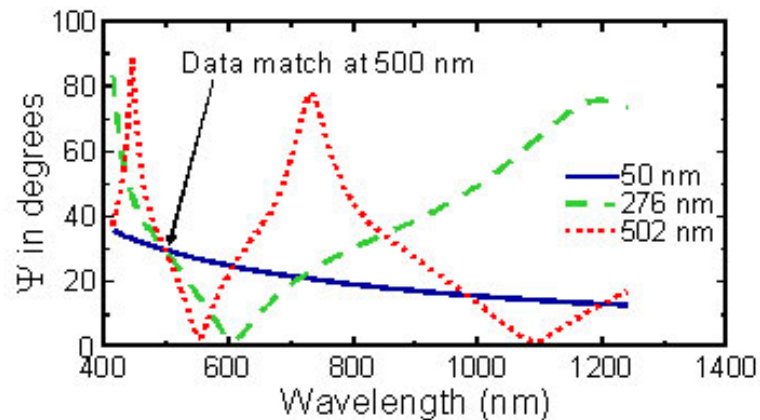


Rétegvastagság – Ellipszometria

- Polarizált fény vékony filmen visszaverődve megváltoztatja polarizáltságát
- Függ: n , d , k
- Polarizáció szögét (fázist) detektáljuk
- Filmvastagság meghatározása iterációval
- A helyes filmvastagságnál a mért és a számított görbe átfed



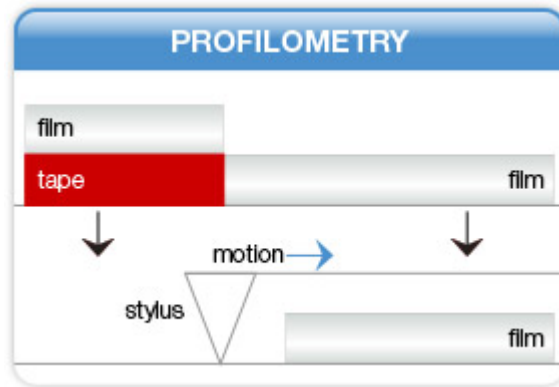
[http://www.jawoollam.com/tutorial_4.html]



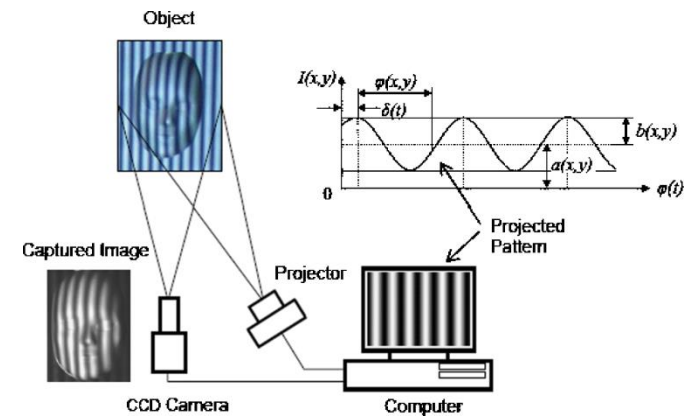
[http://www.jawoollam.com/images/new/FAQ4_FigureB.jpg]

Rétegvastagság – Profilometria

- Kontakt profilometria: egy gyémánt fejet mozgatnak végig a felületen, ami leképezi a felület érdességét. Előnye a közvetlen mérés. 10 nm – 1 mm.
- Nem kontakt/optikai profilometria: több típusa létezik (háromszögelés, konfokális mikroszkópia, alacsony koherenciájú interferometria, digitális holográfia, optikai kábel alapú módszerek); pl. a felület felett egy optikai kábel végén lévő fényforrással pásztázza végig, és a visszavert fényből számolja a felület érdességét.
- Filmvastagság mérés: kell egy lépcső a szubsztrát és a film között (előállítása pl. maszkolással vagy marással).

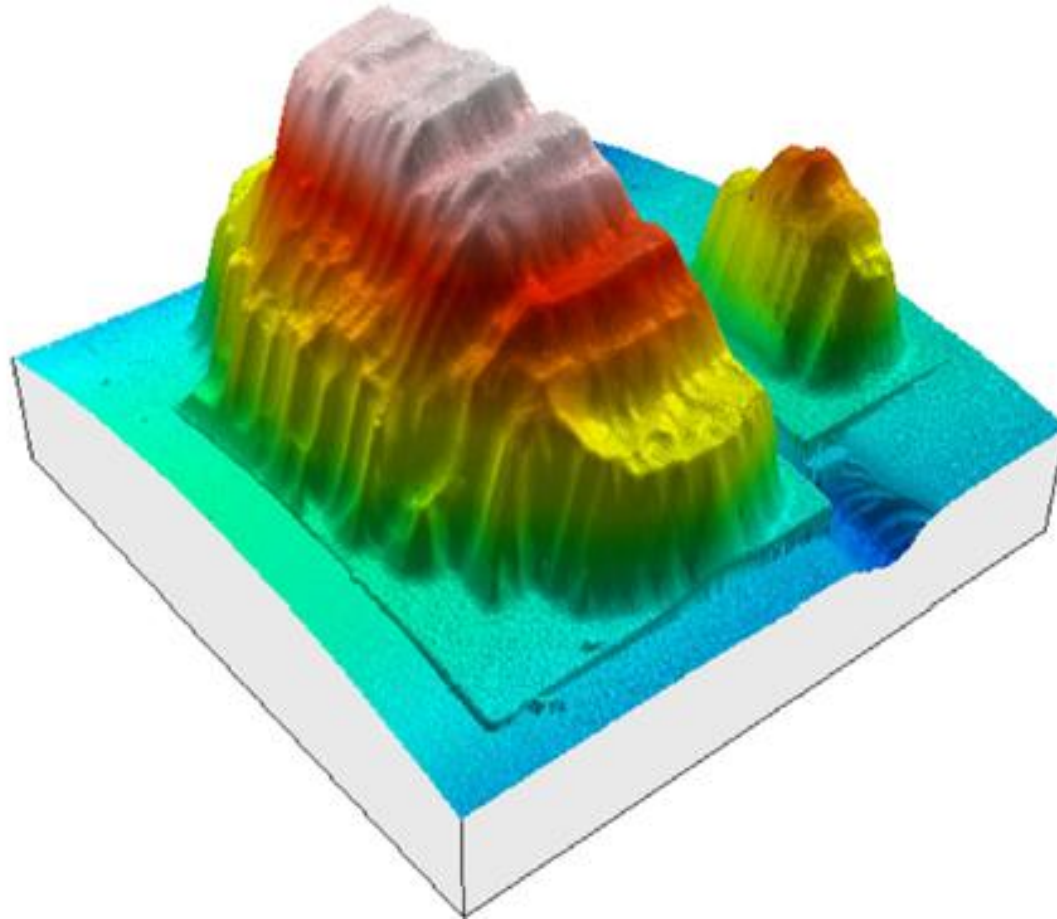


[<http://www.filmetrics.com/profilometer>]



[<http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1077885>]

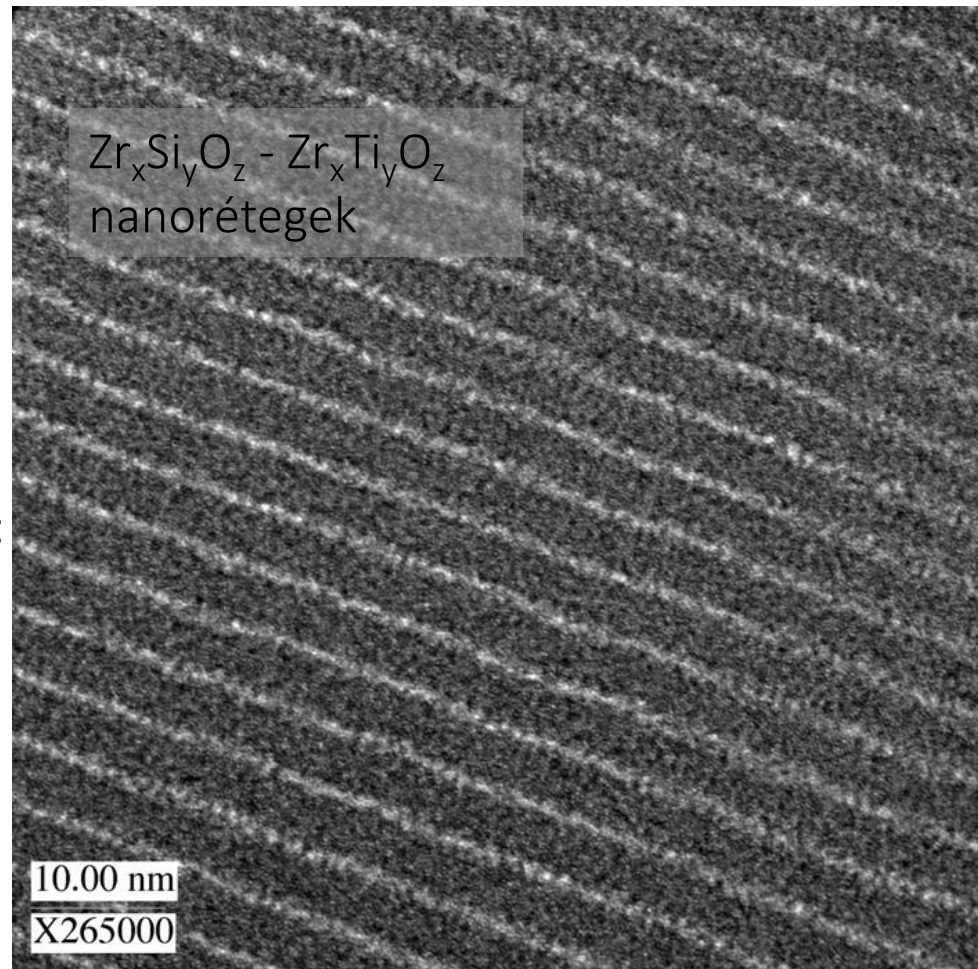
Rétegvastagság – Profilometria



[<http://www.esrtechnology.com/aboutus/news/Pages/displayarticle.aspx?pageid=304>]

Rétegvastagság – Keresztmetszet

- Keresztmetszeti csiszolat vagy metszet készítése
 - csiszolat: pl. műgyantába öntés és polírozás
 - metszet: pl. FIB (focused ion beam) és nanomanipulátor SEM készülékben; mikrotom
- Filmvastagság meghatározása SEM-mel vagy TEM-mel



[Markku Leskelä: Ta₂O₅- and TiO₂- (IrO) Based Nanostructures Made by Atomic Layer Deposition. Lecture at EMRS Spring Meeting 2009, Strasbourg, France]

Köszönöm a figyelmet!