

Elipsometrija

Vygantas Bielskis

Lazerinių tyrimų centras

Vilnius 2004

Turinys

- Istorija
- Teorija
- Elipsometrijos principas
- Elipsometrijos metodai
- Elipsometras Лэф-3М
- Taikymai

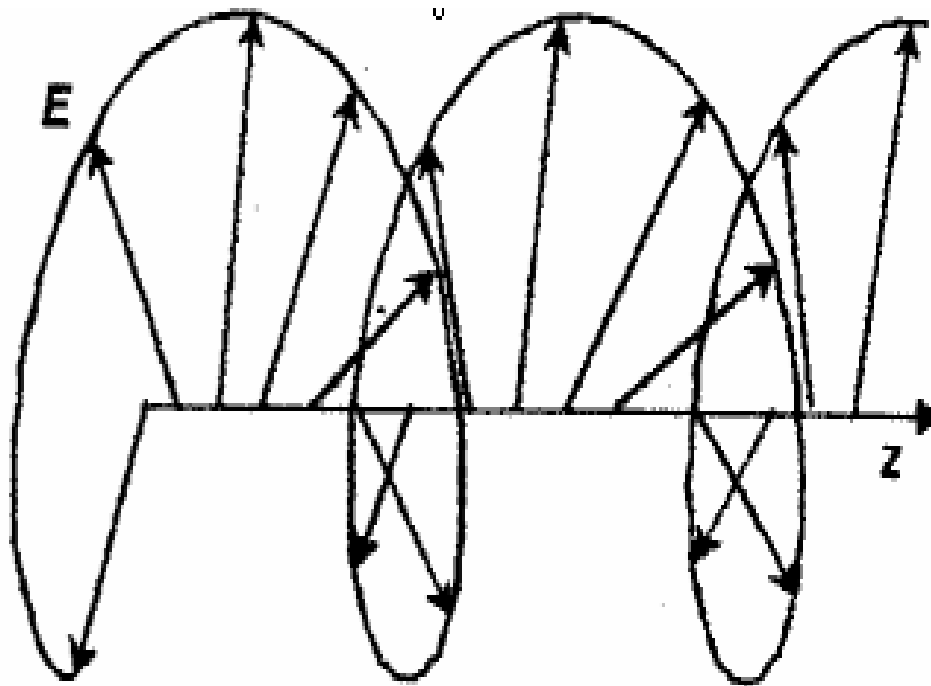
Istorija

- 17 a. Hiuigenso principas
- 19 a. pr. Frenelio lygtys
- 19 a. pab. Maksvelo lygtys
- 20 a. pr. Drude tyrinėjimai
- 1944 m. pirmasis panaudojo elipsometrijos terminą – Rotenas.
- 1960 m. elipsometrijos reikšmė išaugo atsiradus kompiuteriams.
- 1970 m. pirmasis komersinis elipsometras

Teorija

- Elipsiškai poliarizuota banga
- Ketvirčio bangos ilgio plokštelė
- Poliarizatoriai
- Frenelio formulės
- Poliarizacijos laipsnis
- Jone's matricos

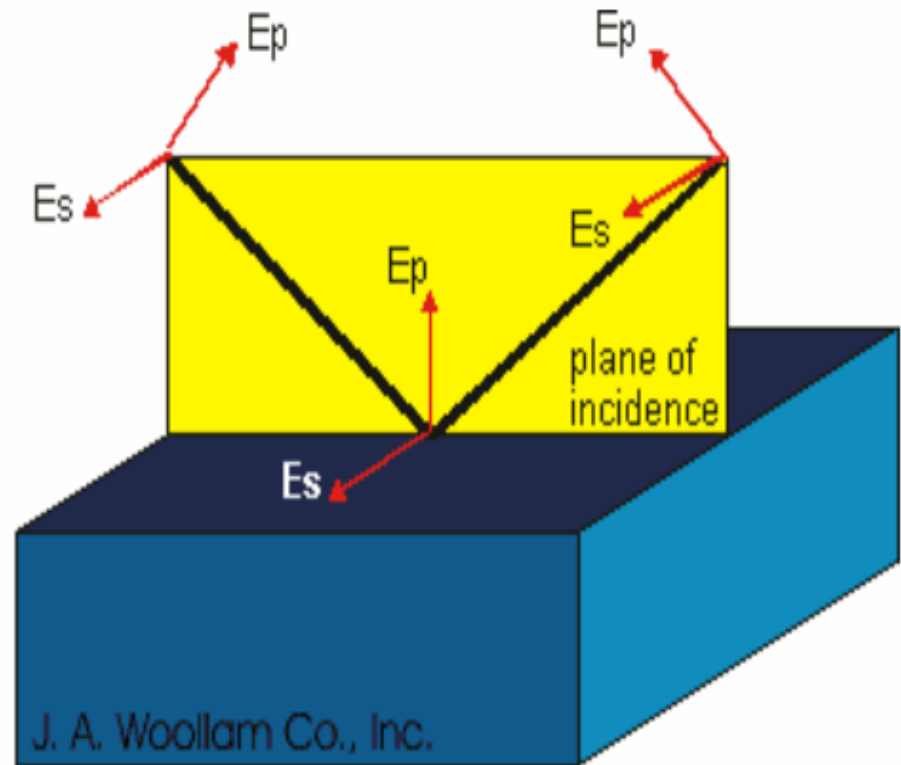
Elipsiškai poliarizuota šviesa



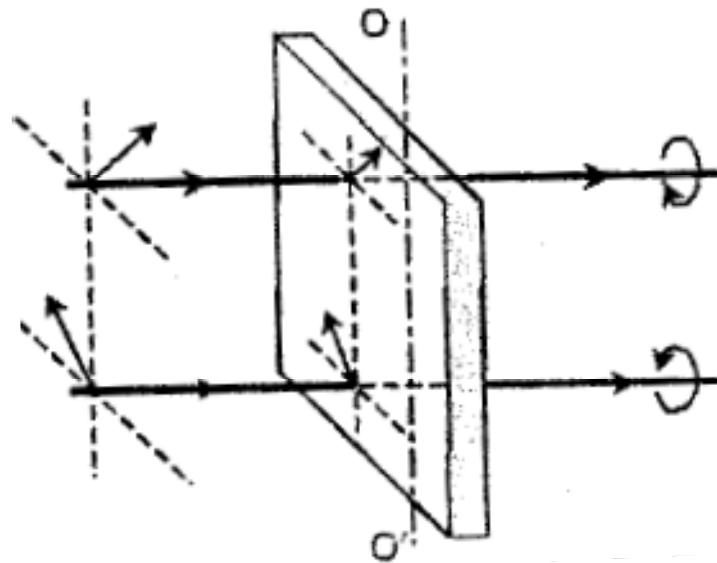
Elipsiškai
poliarizuota
banga
brėžia
erdvines
elipsines
spirales

Elektrinio vektoriaus komponentės

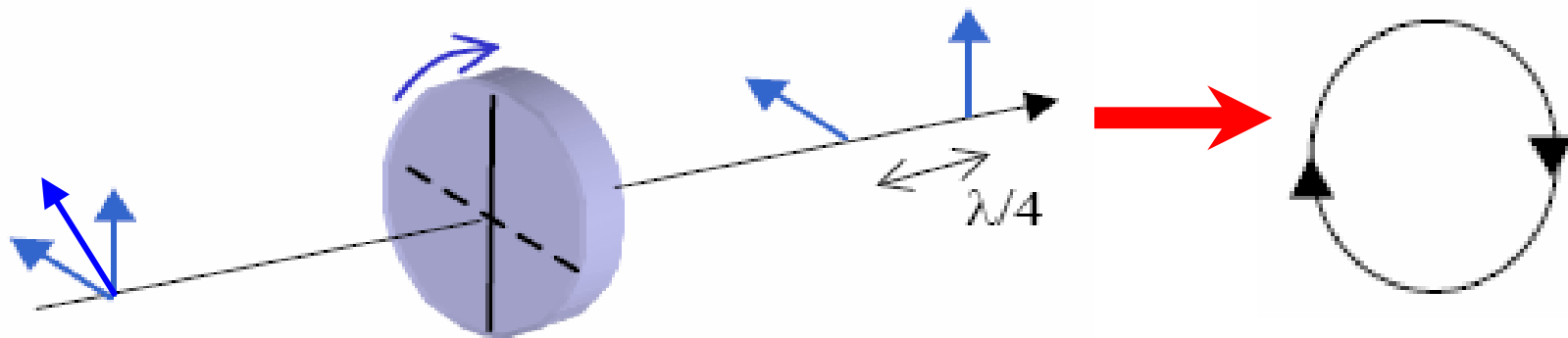
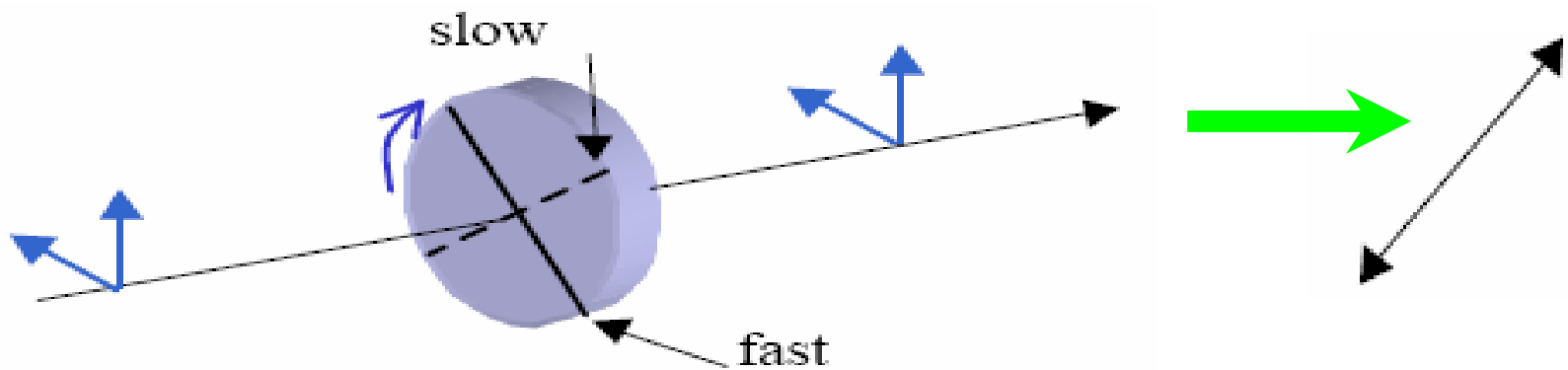
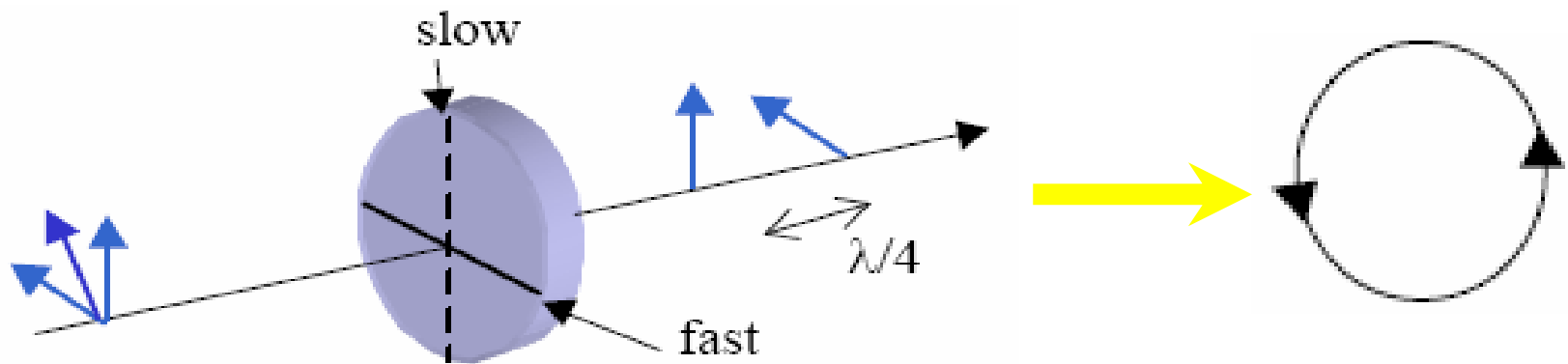
- Elektrinio vektoriaus p komponentė virpa kritimo plokštumoje
- Elektrinio vektoriaus s komponentė virpa statmenai kritimo plokštumai



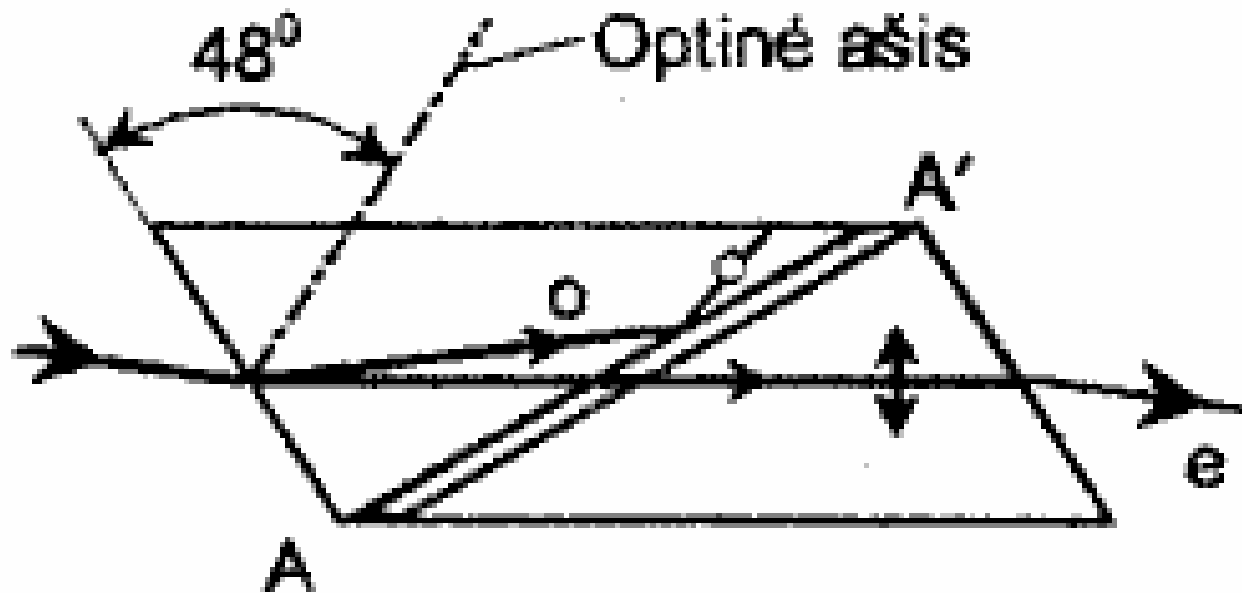
Ketvirčio bangos ilgio plokštelė



Keičia bangos poliarizaciją



Polarizatoriai



Nikolio prizmė suklijuota Kanados balzamu

Frenelio formulės

$$E_{1p} = E_p \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}(\varphi + \psi)}$$

$$E_{1s} = -E_s \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)}$$

Atspindėjusios
bangos
elektrinio
vektoriaus
komponenčių
vertės

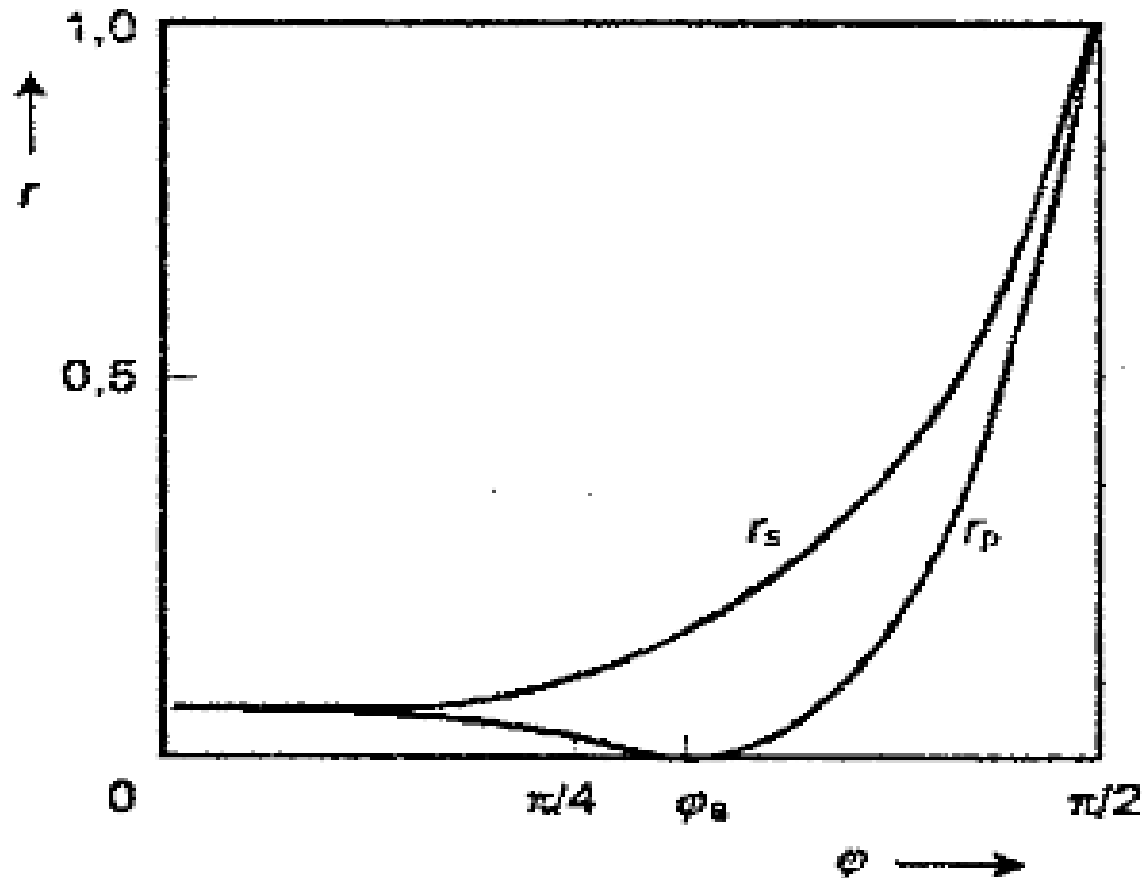
Frenelio atspindžio faktoriai

$$R_p = \frac{E_{1p}^2}{E_p^2} = \frac{\operatorname{tg}^2(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}^2(\varphi + \psi)}$$

$$R_s = \frac{E_{1s}^2}{E_s^2} = \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi + \psi)}$$

Patogiau naudoti
atspindžio
faktorius

R_p ir R_s priklausomybės nuo kritimo kampo



Polarizacijos laipsnis

$$P = \frac{I_{1s} - I_{1p}}{I_{1s} + I_{1p}}$$

I_{1p} ir I_{1s} yra atspindėjusiųjų dedamųjų intensyvumai

$$P = \frac{\cos^2(\varphi - \psi) - \cos^2(\varphi + \psi)}{\cos^2(\varphi - \psi) + \cos^2(\varphi + \psi)}$$

Naudojant
Frenelio
formules

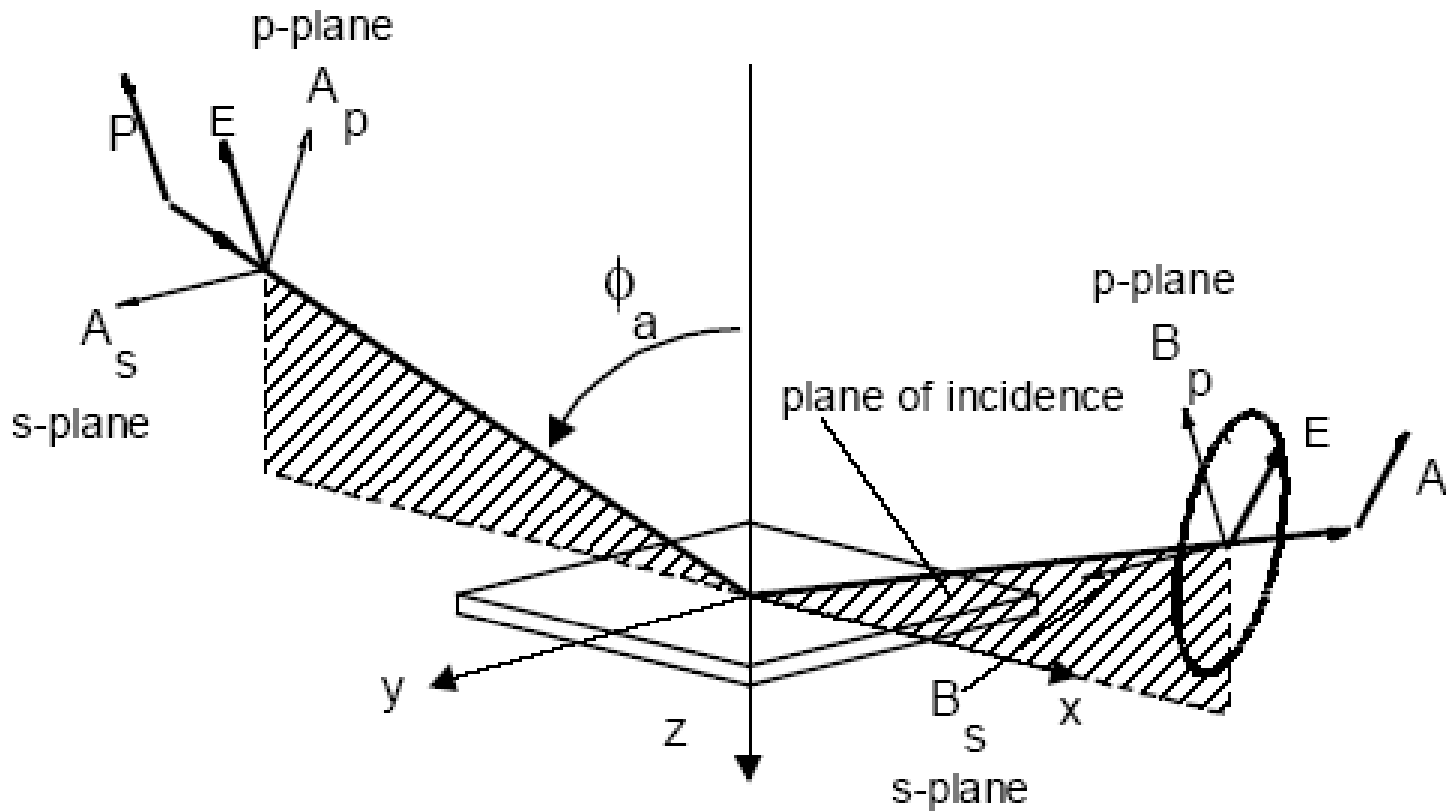
Jone's optinės matricos

$$\begin{pmatrix} B_p \\ B_s \end{pmatrix} = \mathbf{r} \begin{pmatrix} A_p \\ A_s \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} r_{pp} & r_{sp} \\ r_{ps} & r_{ss} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} A_p \\ A_s \end{pmatrix}$$

\mathbf{r} yra atspindžio matrica (Jones matrica).

Ji sieja p ir s komponentes bangai atsispindint nuo paviršiaus.

Bangos atspindys

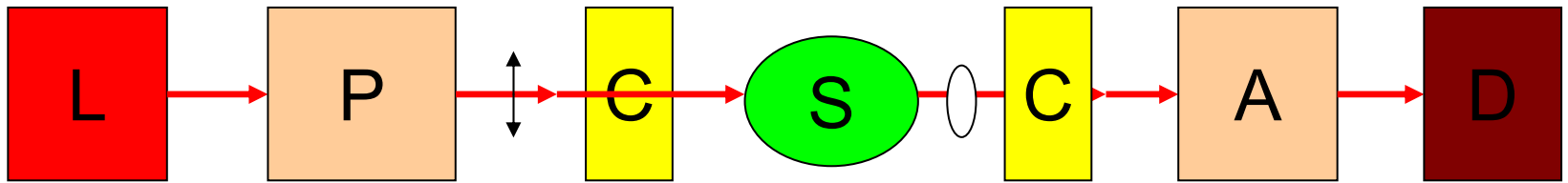


Elipsometrijos principas

Apibrėžimas: medžiagos neardantis optinių parametru matavimo metodas, kuris remiasi poliarizacijos pokyčiu, susidarančiu poliarizuotai šviesos bangai atsispindint nuo veidrodinio paviršiaus.

Kadangi dažniausiai poliarizacija yra elipsinė, tai ir metodas vadinamas elipsometrija 😊

Elipsometro schema



L – šaltinis

P - poliarizatorius

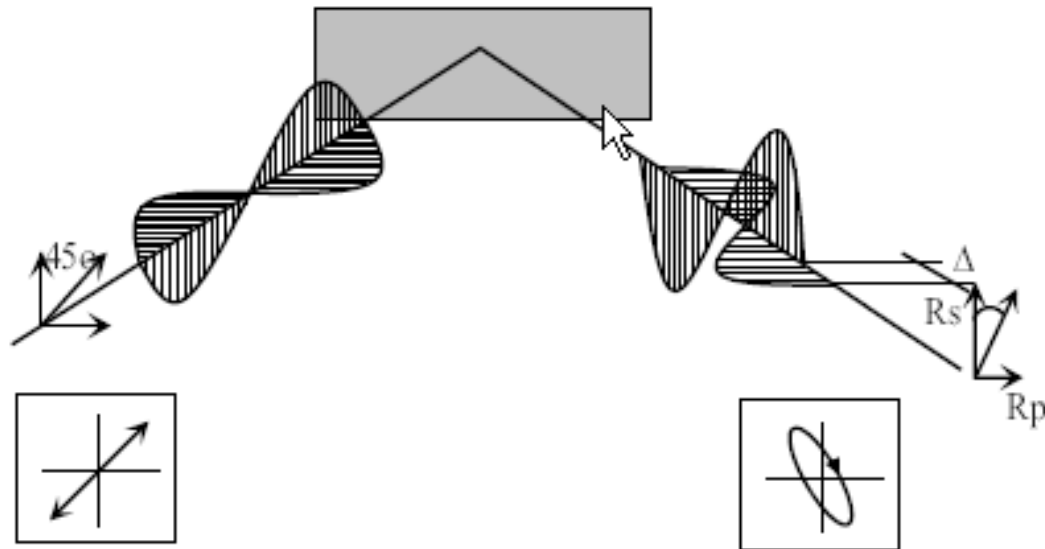
S – bandinys

A – analizatorius

D – detektorius

C - kompensatorius

Elipsometrijos principai



Matuojami dydžiai

Fiksuojamos poliarizatoriaus
ir analizatoriaus azimutų
padėtys



Apskaičiuojami
elipsometriniai parametrai
 Ψ ir Δ

Kas
iš
to?

Ψ ir Δ kas tai?

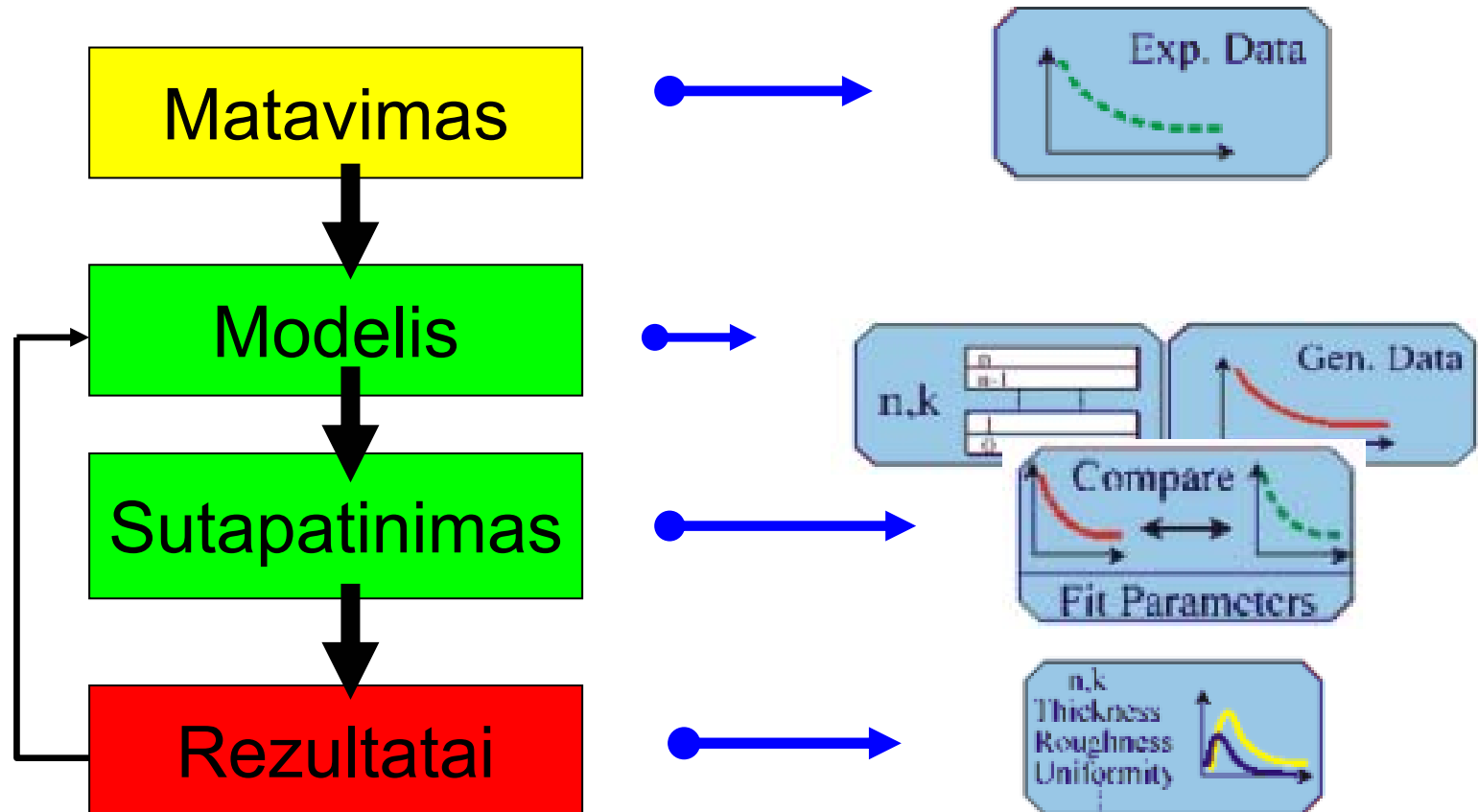
Ψ ir Δ tiesiogiai siejasi su Frenelio koeficientais

$$\underline{R_p/R_s} = \underline{\tan(\psi)} \underline{e^{i\Delta}}$$

Ψ nusako amplitudės pokytį

Δ nusako fazės pokytį

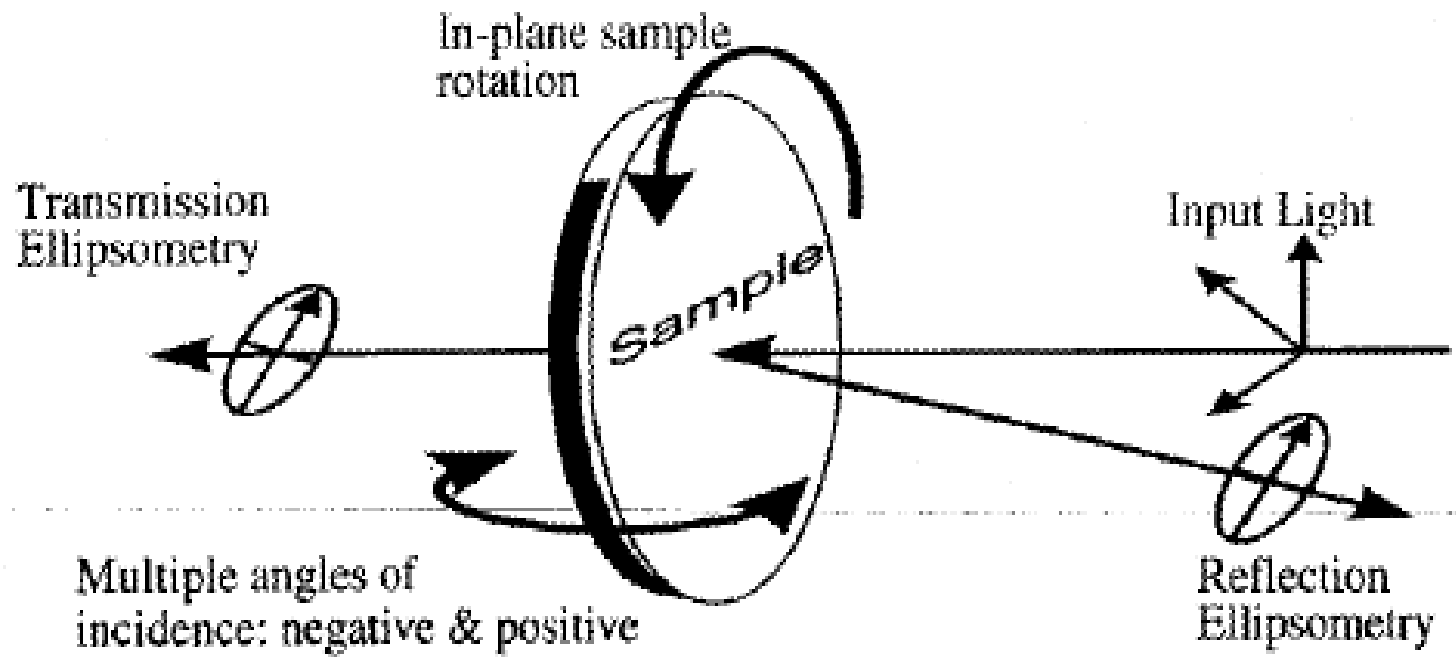
Duomenų analizė arba ką daryti, kad būtų naudos?



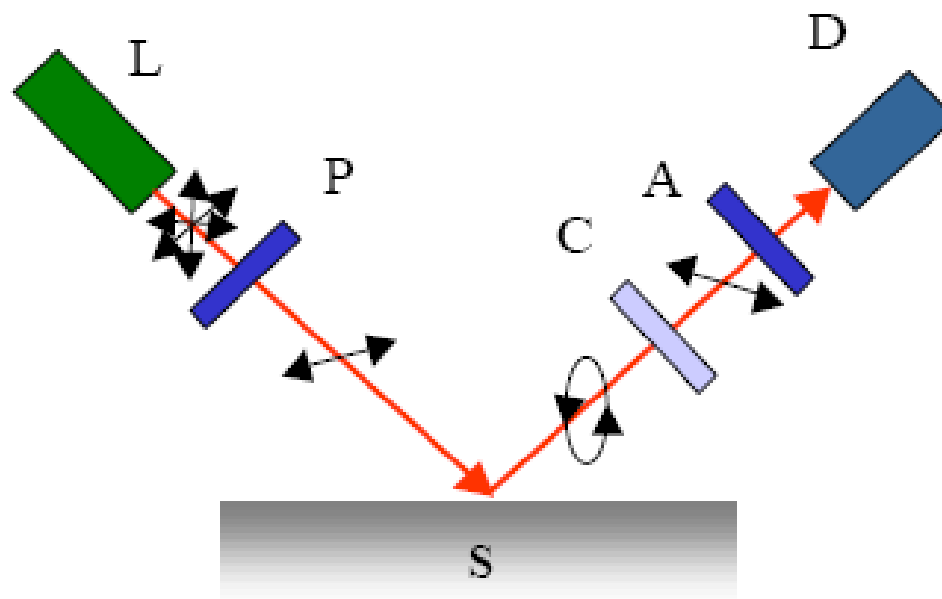
Elipsometrijos metodai

- Nulinė elipsometrija
- Spektroskopinė elipsometrija
- Fotometrinė elipsometrija
- Fazės moduliacinė elipsometrija
- ir kita

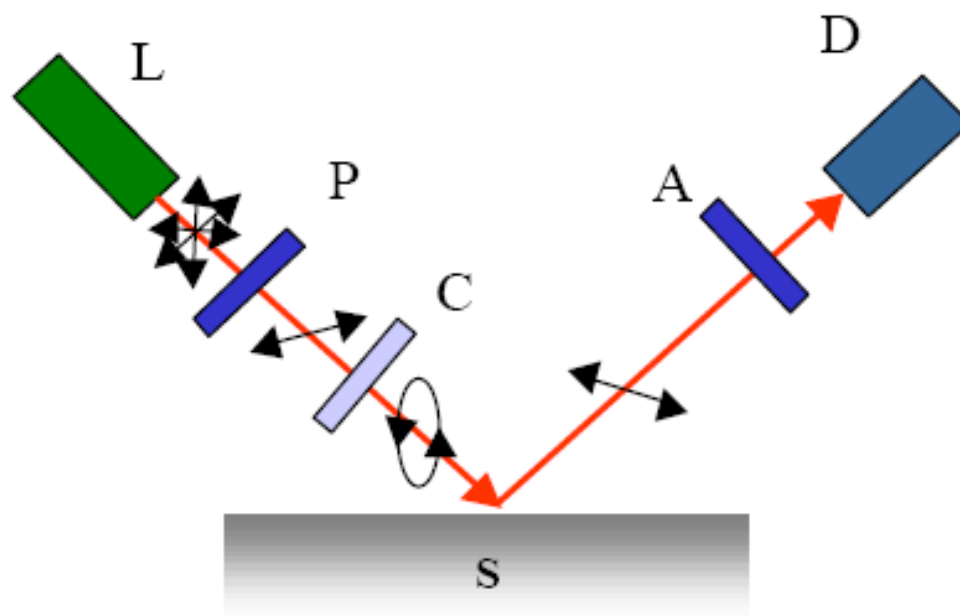
Gali būti taip



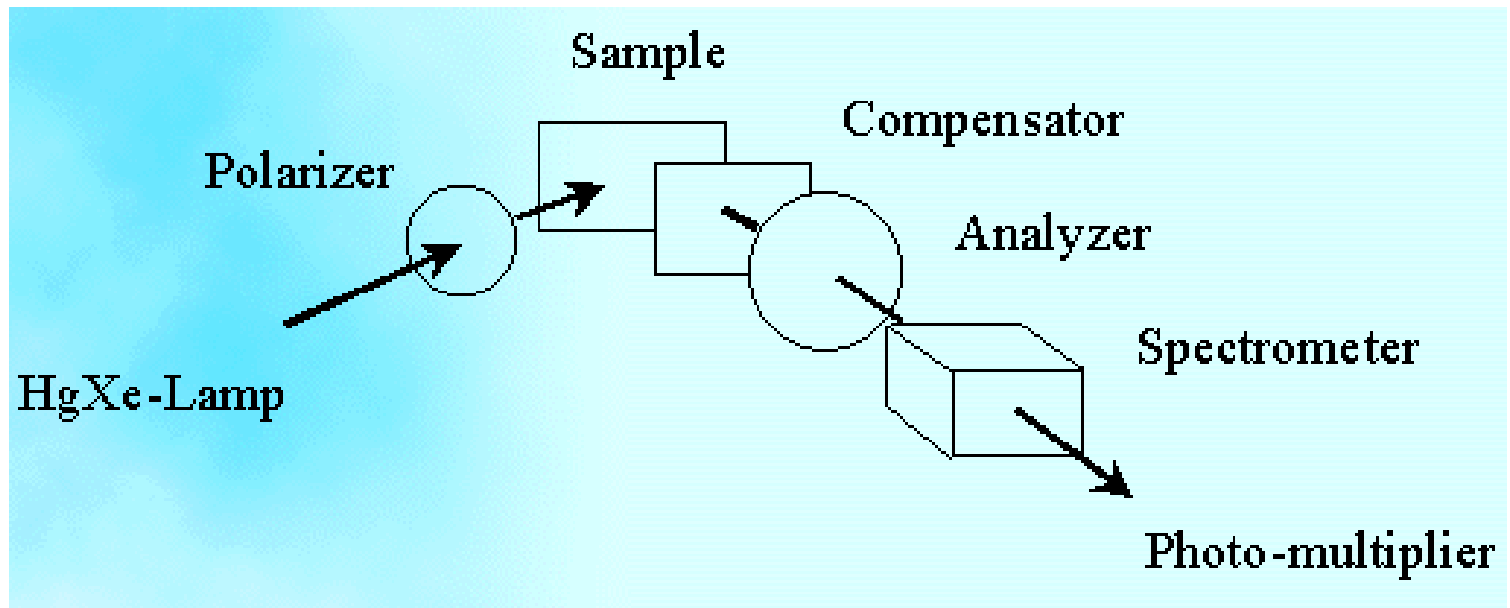
Nulinė elipsometrija (PSCA tipo)



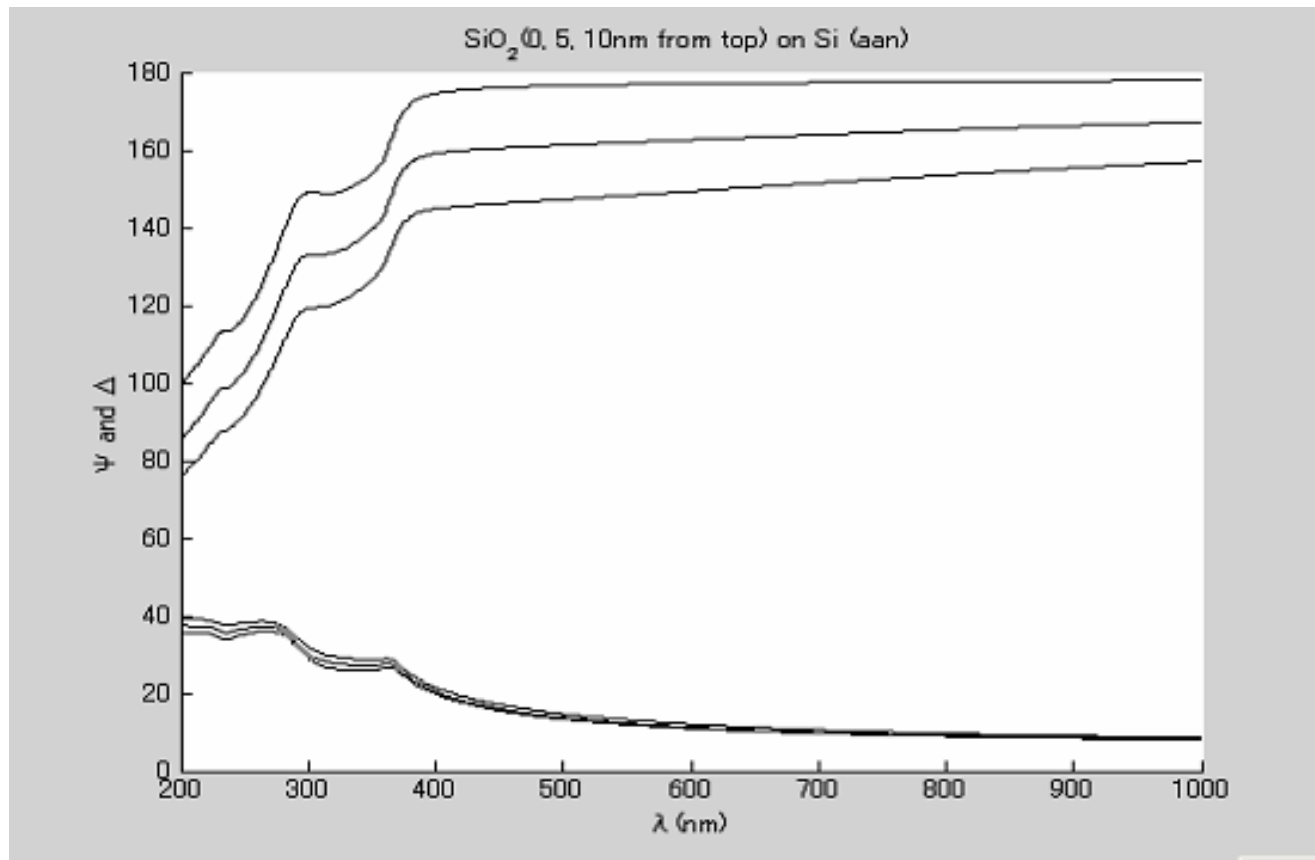
Nulinė elipsometrija (PCSA tipo)



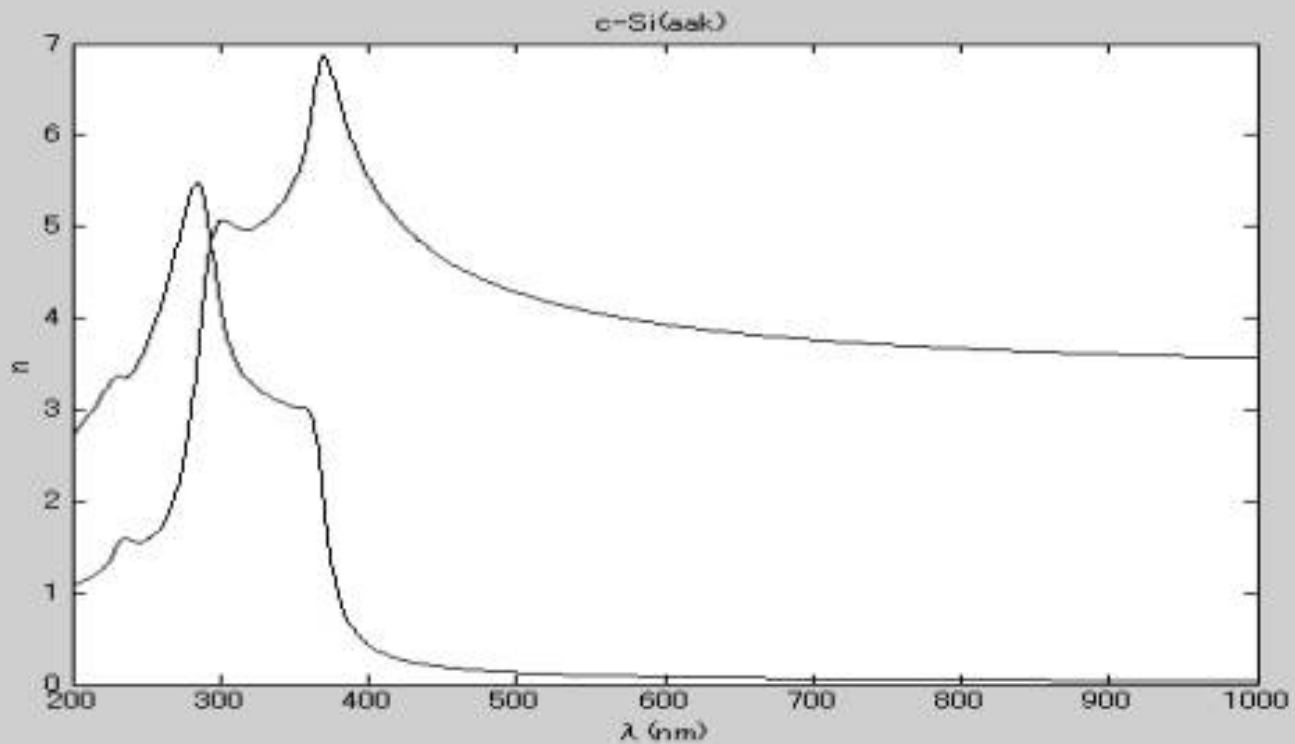
Spektroskopinė elipsometrija



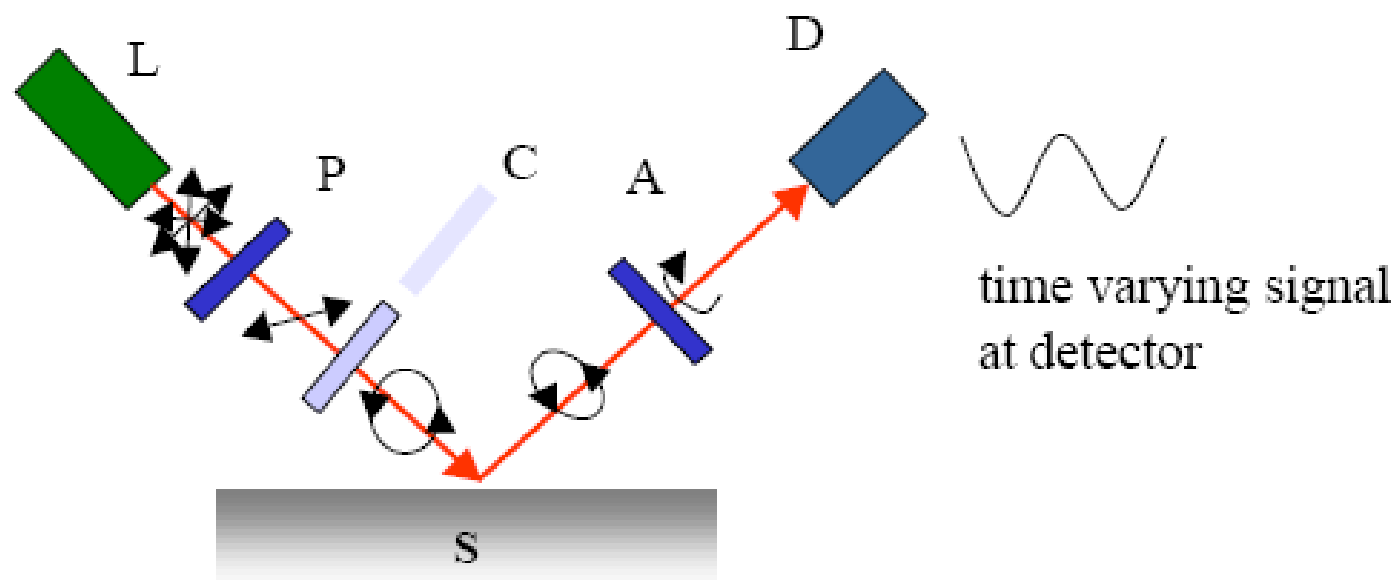
Elipsometrinių parametru spektriskoji priklausomybė



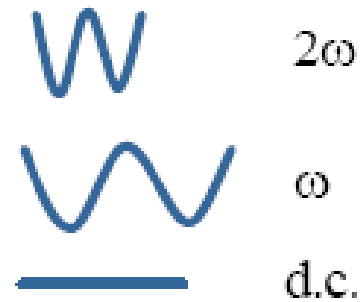
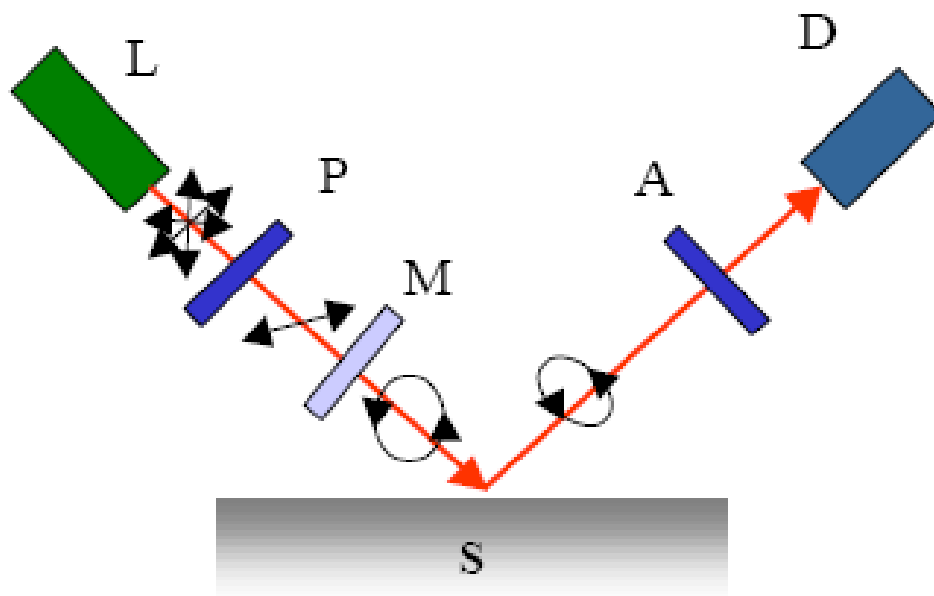
Lūžio rodiklio priklausomybė nuo bangos ilgio (šviesos dispersija)



Fotometrinerē elipsometrija



Fazès moduliaciné elipsometrija

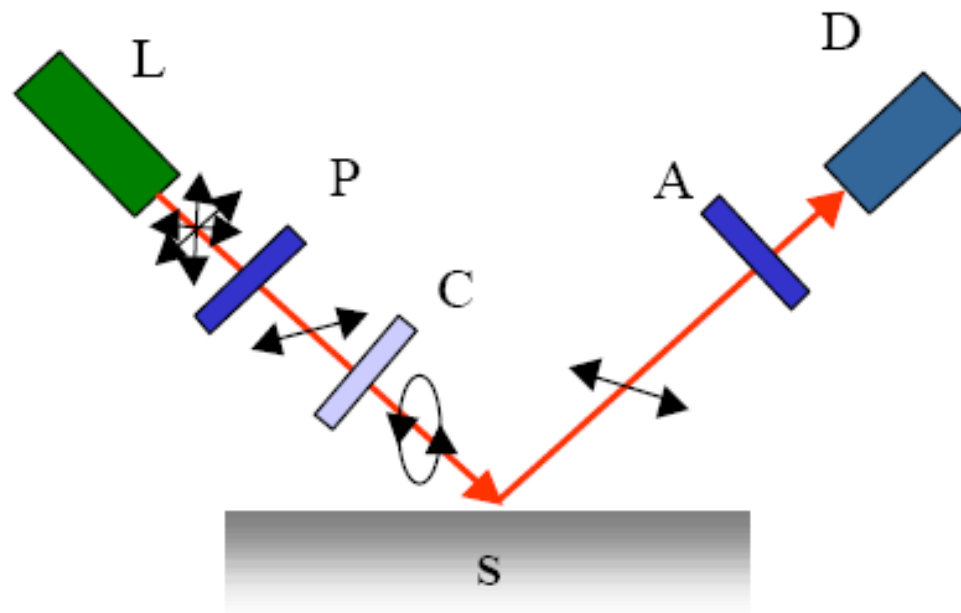


time varying signal
at detector has 3 components

Elipsometras Лэф-3М

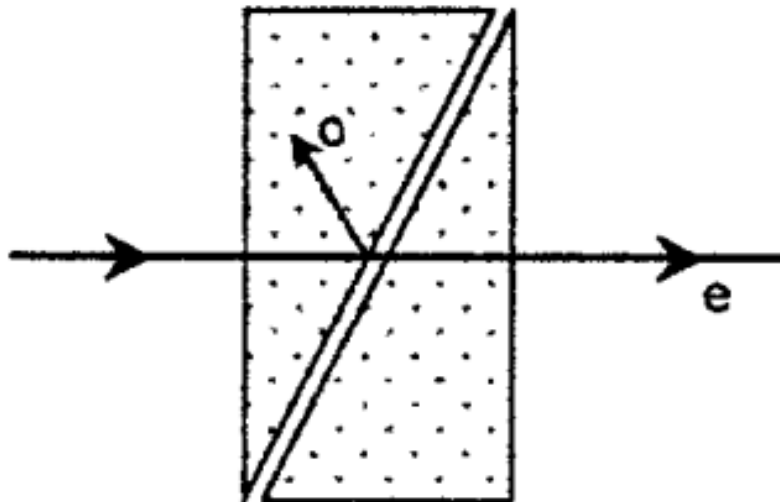


Лэф-3М нүлинis elipsometras (PCSA tipo)



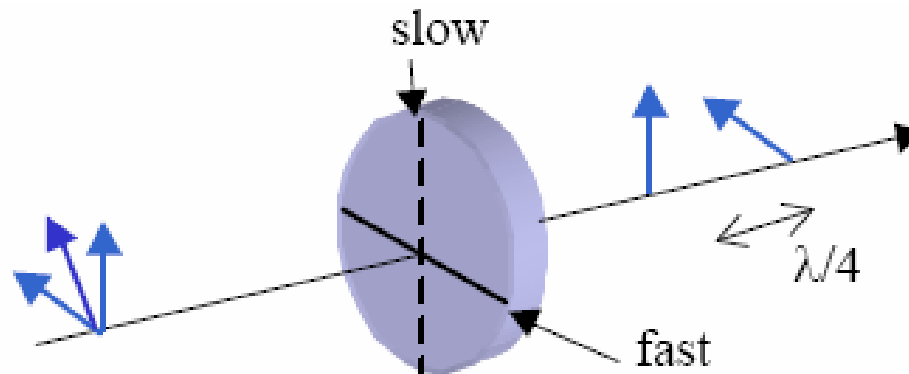
Elipsometro struktūra

He-Ne lazeris, spinduliuojantis 632,8 nm ilgio bangą
Poliarizatorius ir analizatorius yra Glano-Fuko
prizmės iš Islandinio špato (kalcitas)



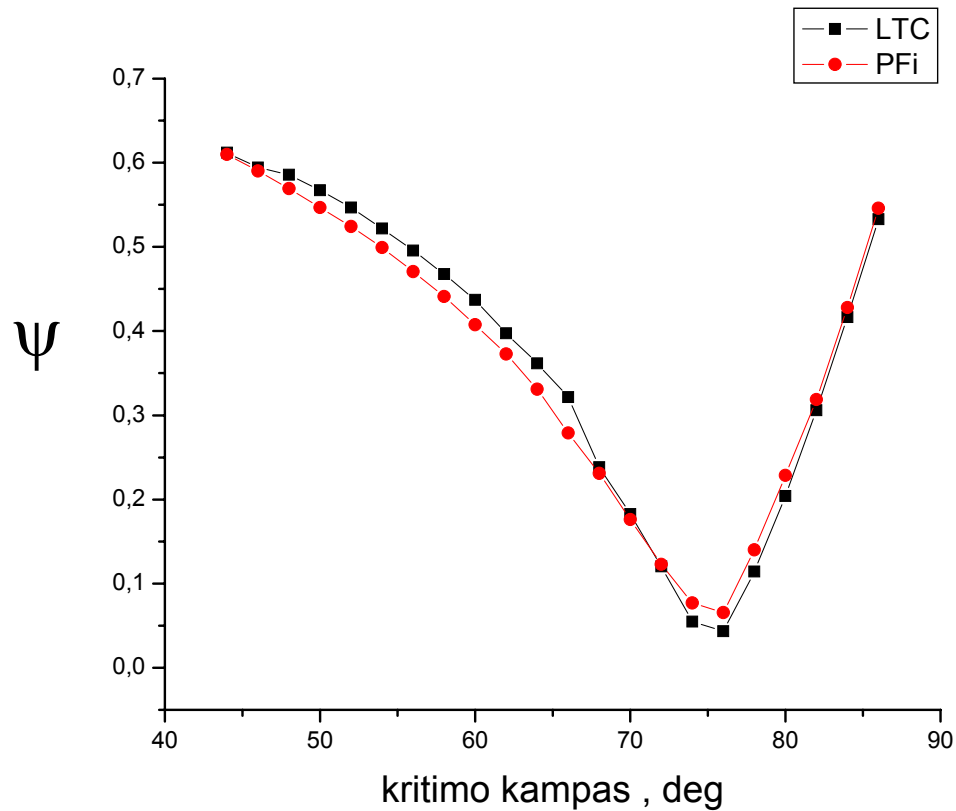
Elipsometro struktūra

Kompensatorius – ketvirčio bangos ilgio plokštelė



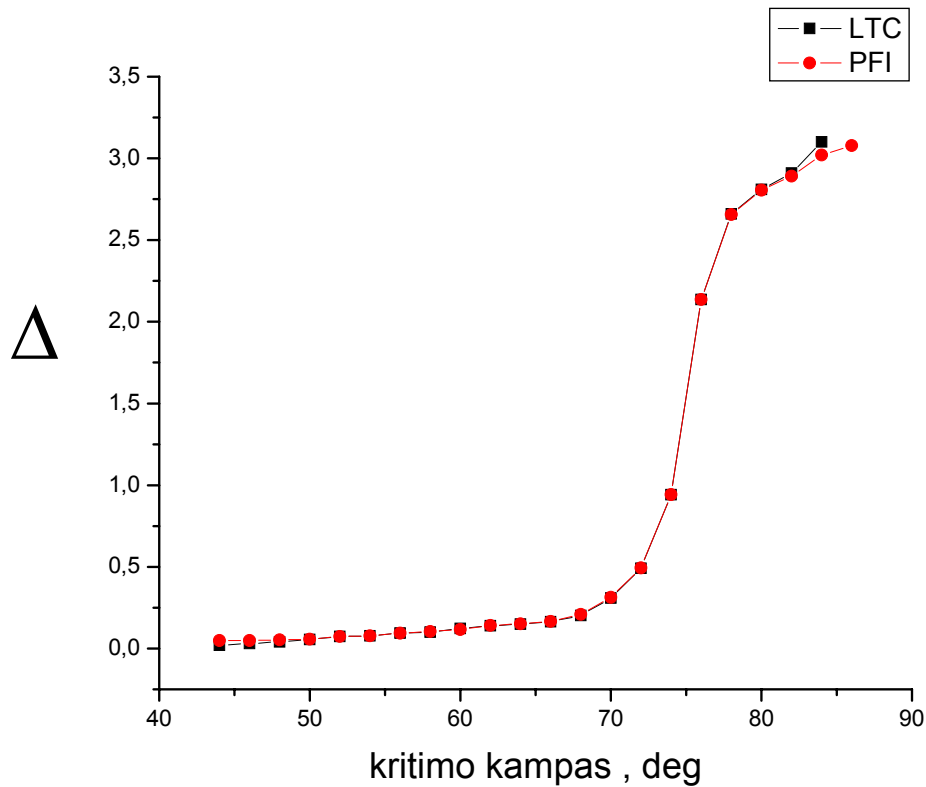
Detektorius – fotodaugintuvas

Kas gaunasi?



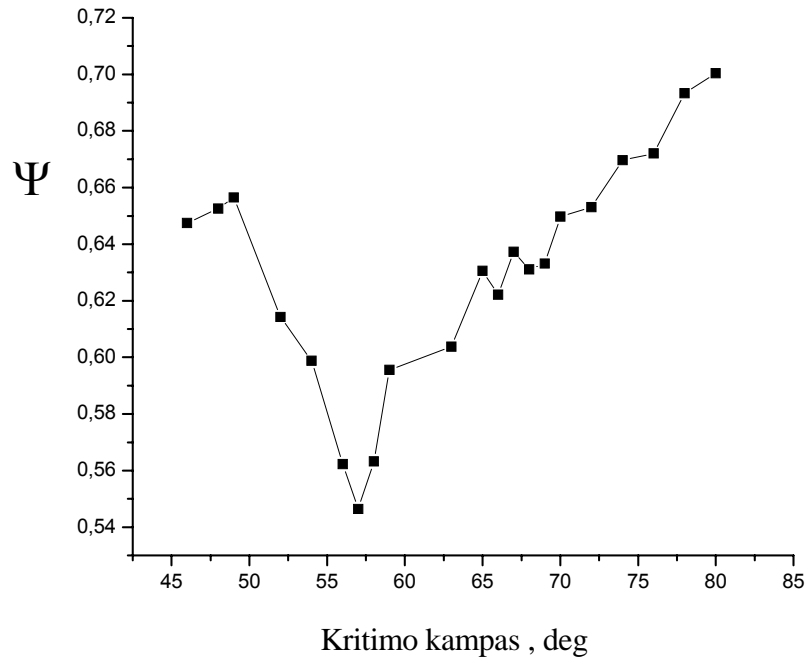
Silicio plokštelė

Delta parametras

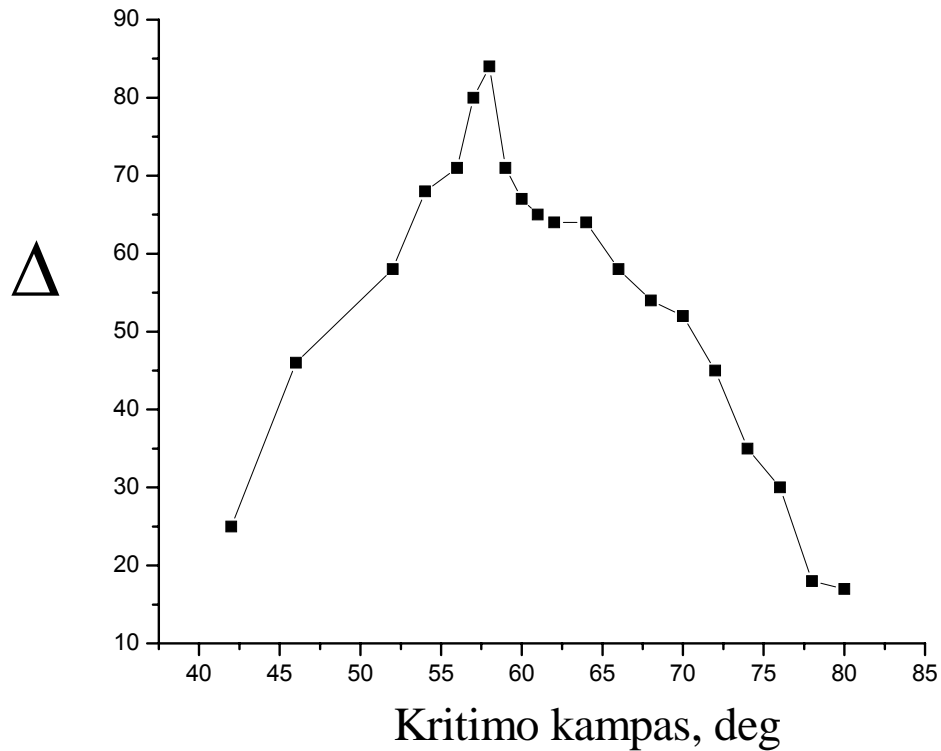


Silicio plokštelė

Zolio-Gelio danga



Zolio-Gelio danga



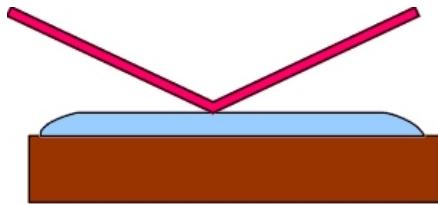
Taikymai

Elipsometriniai
parametrai
 Ψ ir Δ

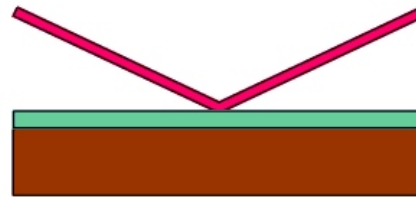


Optinės konstantos
Sluoksnių storis
Mikrostruktūros
Paviršiaus grublėtumas
Anizotropija

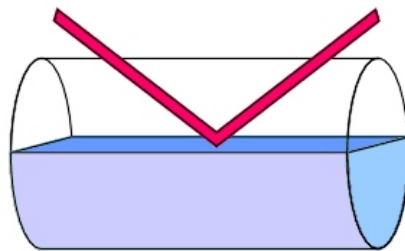
Medžiagų būsenos



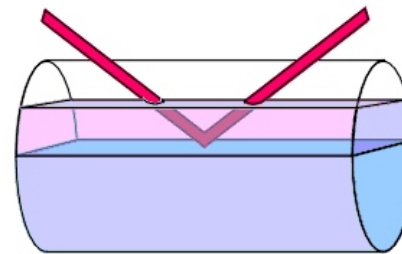
Liquid thin films



Solid thin films



Liquid- vapor interfaces

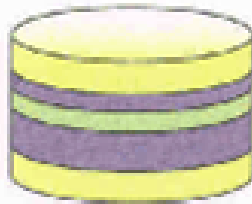


Liquid -liquid interfaces

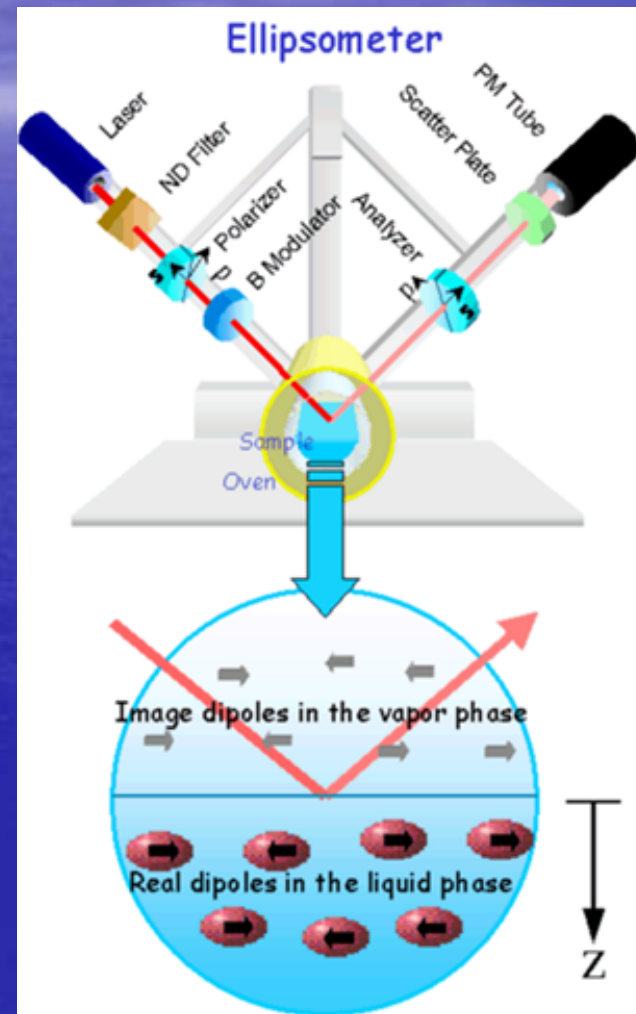
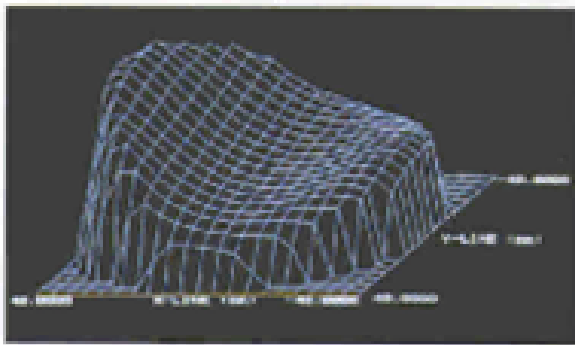
Keletas paveikslukų ☺

SOI Structure determination in less than 6s. with multiguess routine

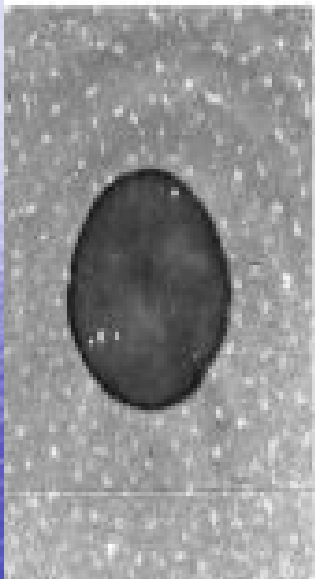
30 Å native oxide
0.57 μm c-Si
0.33 μm SiO₂
0.24 μm polysilicon
0.65 μm SiO₂
c-Si



and surface layer mapping in 6 min.



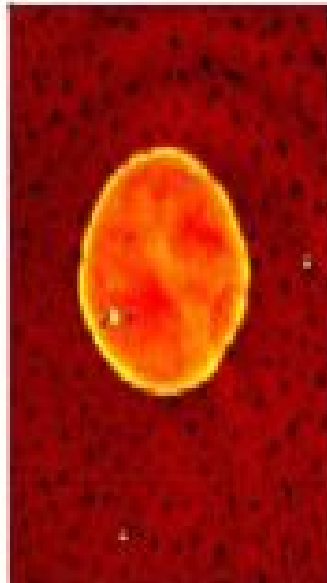
Image



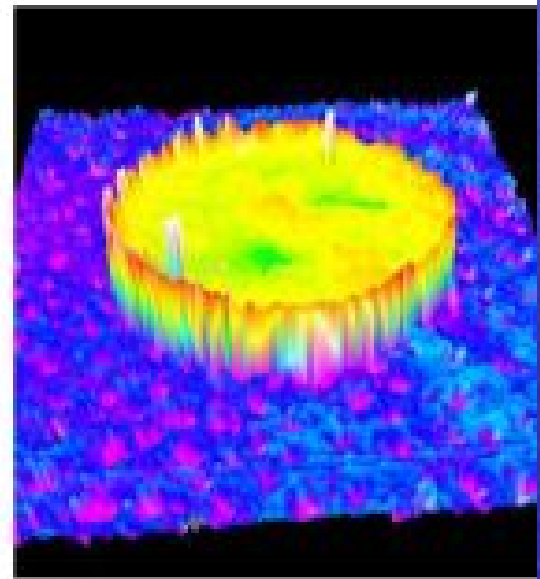
mapping



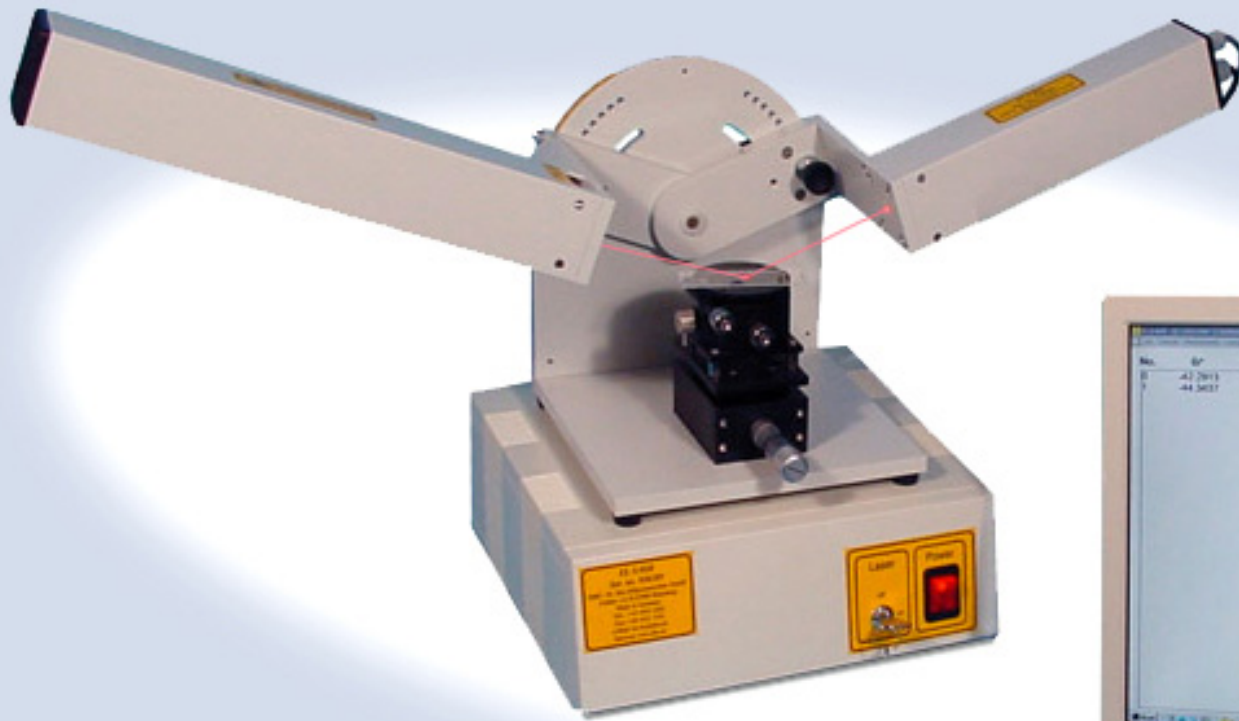
Δ map



thickness map









Ačiū už dėmesį