

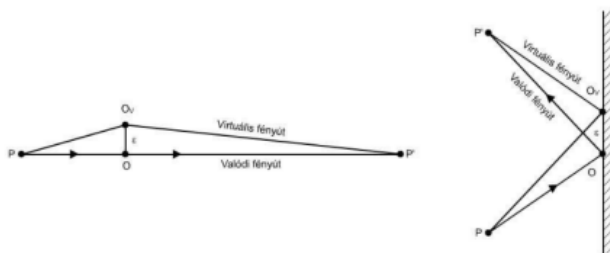
Ismertesse az optika fejlődésének legjelentősebb mérföldköveit!

- Ókor: korai megfigyelések - Euklidész (i.e. 280) „A fény homogén közegben egyenes vonalban terjed.” Legrövidebb út elve (!) Tulajdonképpen geometriai optikai megközelítés.
- Hérón (i.e. I. század): visszaverődés törvénye, bizonyítással.
- Ptolemaiosz (i.sz. II. század): fénytörés törvénye hibásan.
- A középkor: Descartes, Snell (Snellius), Newton és Fermat munkássága
 - A fénytörés törvényének helyes megfogalmazása
 - Érdekesség: a fénytörés törvénye francia nyelvterületen Descartes-törvény, angol/ német nyelvterületen Snell-törvény, magyarul Snellius–Descartes-törvény!

Mi az optikai úthossz? Mit mond ki Fermat törvénye? Milyen geometriai optikai törvények vezethetők le belőle? Mutassa be a Fermat-elvet egy példával!

- Egy homogén közeg n törésmutatójának és a d geometriai úthosszának szorzata az s optikai úthossz: $s = nd$. Általában az optikai úthossz egyenlő azzal az úttal, amelyet a fény ugyanakkora idő alatt a vákuumban tenne meg.
- **Fermat elv:** Legrövidebb idő elve: egy fénysugár egy tetszőleges optikai rendszerben mindig olyan pályát követ, amelyre nézve a kezdő és végpontok közötti terjedési idő minimális.

Példa: síktükör esetén a fény útja is így szerkeszthető



Mit mond ki a Huygens-elv, és miben több ehhez képest a Huygens–Fresnel-elv?

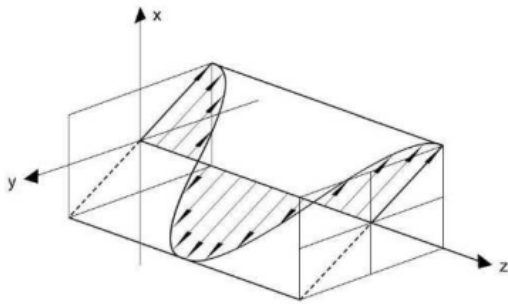
- A hullámfront minden pontja elemi gömbhullámok kiindulópontja. Az elemi hullámok a fény sebességével terjednek. Egy későbbi időpontban a hullámfront új helyzetét az elemi hullámok burkolója adja meg.
- A Huygens–Fresnel-elv szerint ugyanis a hullámfront minden pontjából elemi gömbhullámok indulnak ki, és a hullámtér egy adott pontjában az amplitúdót ezek interferenciája adja meg.

Mi a polarizáció? Mit nevezünk Brewster szögnek?

- A polarizáció típusa a térerősségvektor (E) x és y irányú összetevői közötti fáziskülönbségtől függ: Az E_x és E_y fáziskülönbségének speciális esetei:
- A Brewster az a szög, amely esetén csak az egyik polarizáció verődik vissza.

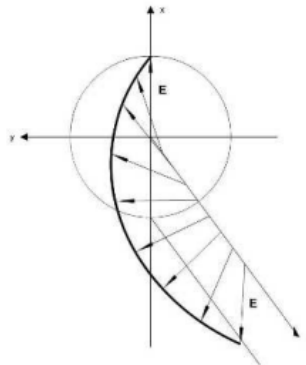
Milyen polarizáció-típusokat ismer? Rajzzal szemléltesse!

$$\Delta\varphi = 0 \text{ vagy } \pi$$



Lineárisan polarizált

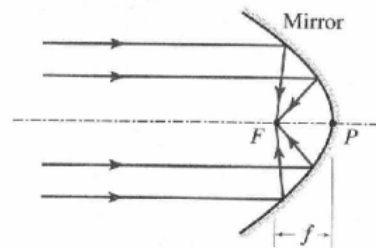
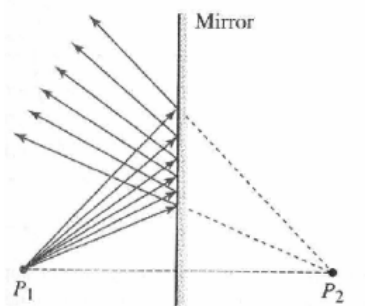
$$\Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$$



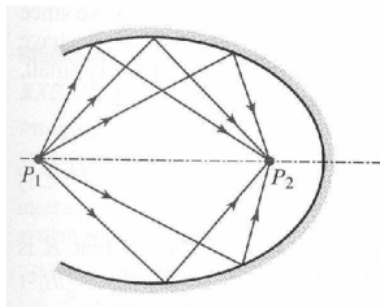
Cirkulárisan polarizált

Mutassa be a visszaverődés törvényét sík felületen, parabola-, elliptikus, és gömbtükörn! Mit jelent a Fermat-elv elliptikus tükör esetében?

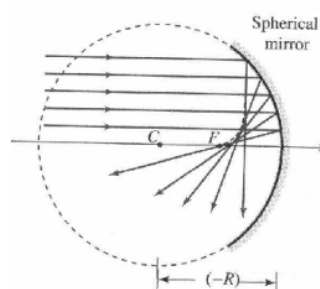
- Pont tükörképe síktükörben és párhuzamos fénysugarak visszaverődés a fókuszpontba parabolatükör esetében:



- Elliptikus tükör:



- Gömbtükör:



Mutassa be a gömbtükör közelítését parabolatükörrel!

- A gömbtükör esetében a párhuzamos nyalábok nem egy pontban találkoznak. Kis beesési szögnél azonban igaz, hogy a gömb geometriai középpontját és optikai középpontját felező fókuszpontban gyűlnek össze a sugarak. A gömbtükör tehát

paraxiális esetben parabolatükröként viselkedik, így kis beesési szögek esetén közelíthető, számolható parabolatükröként.

Milyen elhanyagolásokkal élünk? Mit eredményeznek az elhanyagolások a gömbtükrő képalkotását illetően?

Milyen törvények érvényesek sík közeghatáron történő fénytörésnél?

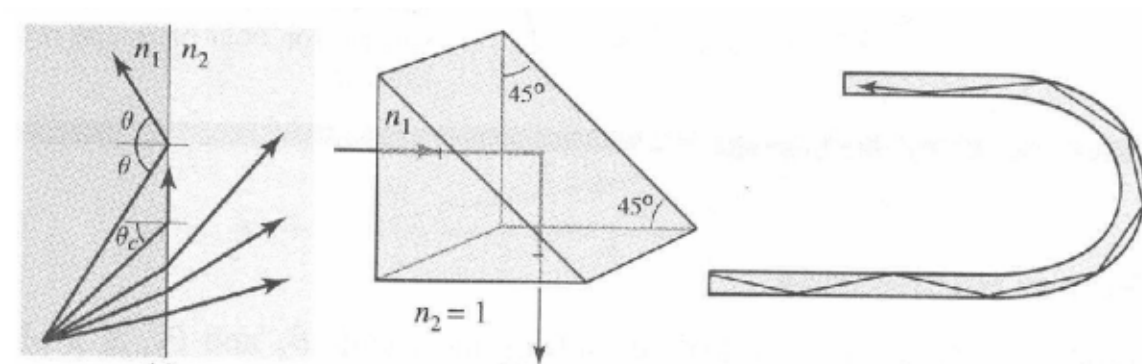
- Két alapvető eset:
 - Kisebb törésmutatóból a nagyobbba („külső reflexió”):
 - Snellius–Descartes törvény érvényes
 - Nagyobb törésmutatóból a kisebbbe („belső reflexió”):
 - S-D csődöt mond akkor, ha a beesési szög túl nagy, a visszaverődés szög szinuszának nagyobbak kéne lennie, mint 1
 - Teljes visszaverődés, vagy totálreflexió.

Mi nevezünk sugárkövetés eljárásnak, milyen esetekben alkalmazható?

Mi a mátrixoptikai leírás folyamata?

Mutassa be rajzon a vékony lencse leképezésének eseteit.

Rajzzal mutassa be a totálreflexió jelenségét 3 különböző optikai elem esetében! A prizma esetében határozza meg a teljes visszaverődés numerikus feltételét!



- A teljes visszaverődés határszöge:

$$\theta_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

Mit nevezünk üvegnek?

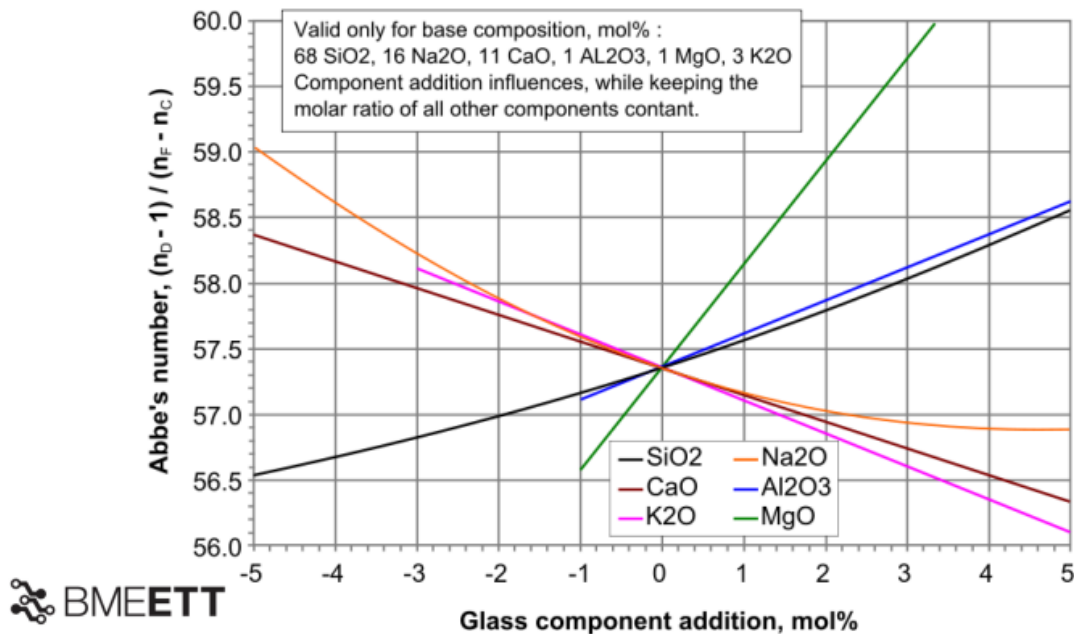
- Az üveg szervesetlen anyagok olvadéka, amely a merev állapotba kristályosodás nélkül hűlt le.

Milyen az üvegek jellemző transzmissziója?

Mi az Abbe szám és mit jellemez?

- Az Abbe szám megmutatja, hogy milyen a lencse színbontási tulajdonsága. Az Abbe szám fordítottan arányos a törésmutatóval, a vékonyítás növekedésével romlik a színbontása.

Hogyan néz ki és mire használható az üvegek Abbe diagramja?

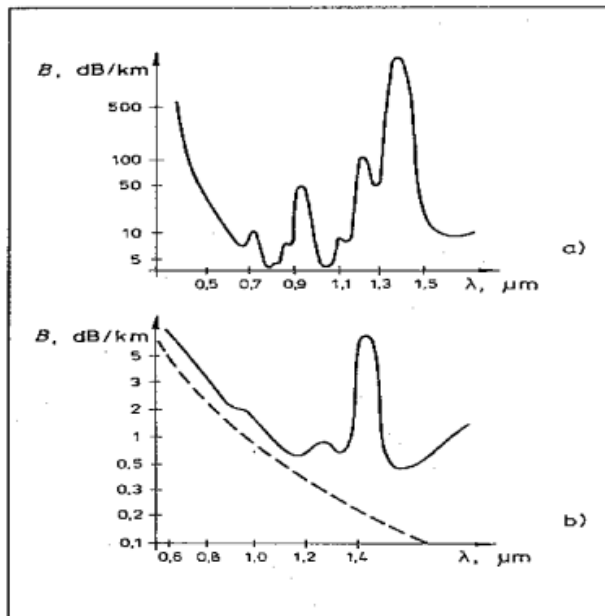


Jellemezze a kvarcüveget!

- A kvarcüveget tiszta szilíciumdioxidból állítják elő 1700 C feletti hőmérsékletnél.
- A képlékeny massa lehűtésekor figyelni kell a hőmérséklet pontos változására, mert különben könnyen elkezdődhet a kristályosodás, más-más fázisok alakulhatnak ki az anyagban.
- A kvarcüveg egy sor kiváló tulajdonsággal rendelkezik: alacsony a hőtágulási tényezője (10 – 20-szor kisebb mint az összes ismert anyagban)., igen magas a nyomószilárdsági ellenállása (nagyobb mint 2000 MPa).
- Kvarcüveg átteresztőképessége az UV tartományban: 180 nm-ig.

Hogyan függ a kvarcüveg elnyelési spektruma a benne lévő OH-tartalomtól? Vázolja a spektrumokat!

OH- ABSZORPCIÓJA KVARCÜVEGBEN



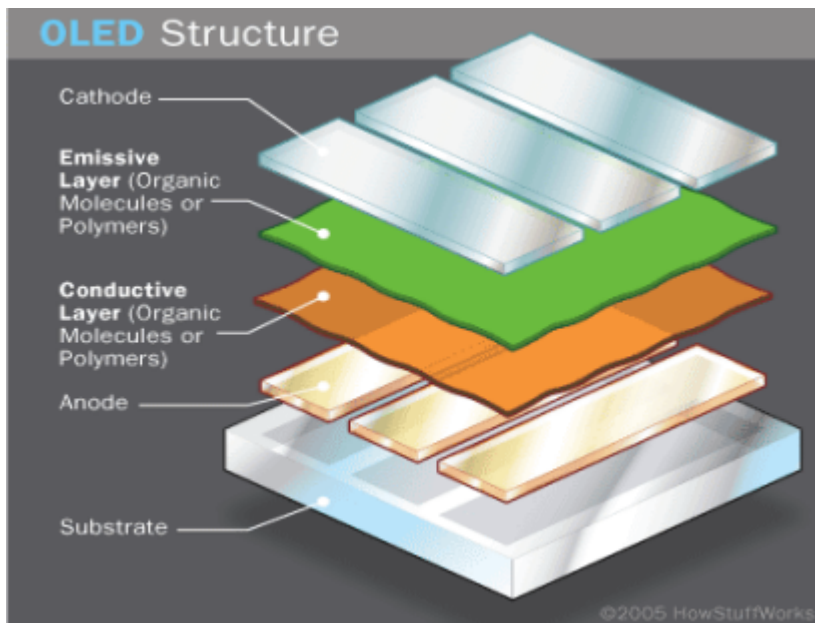
SiO₂ szál optikai elnyelési spektrumai
a) 10⁻² atom% OH, b) 10⁻⁵ % atom% OH

Mutassa be az üvegszálak gyártástechnológiáját!

Definiálja a polimerek fogalmát, ismertesse jellegzetességeiket, és mondjon példát optikai polimerre!

- kémiai vegyületeket amelyek monomer egységből épülnek fel.
- Jellegzetességek:
 - kicsi a sűrűség
 - korrózióálló
 - jó szigetelők, de készíthetők vezető polimerek is
 - kicsi előállítási költség
 - könnyű feldolgozhatóság
 - megfelelő stabilizálás esetén pedig nem bomlik le
 - rossz hőállóság és hővezető képesség
- polisztirol, polietilén, poli(vinil-klorid)

Vázolja az OLED szerkezetét!



Definiálja a folyadékkristály fogalmát! Milyen jellemezői vannak a folyadékkristályoknak?

- Hosszú, szerves molekulákból épülnek fel, dipólnyomatékkal rendelkeznek, külső elektromos térrel irányíthatók. A molekulák a térben rendezetlenül helyezkednek el (folyadék-állapot), ellenben a molekulák maguk térbelileg orientáltak (mint a kristályos állapot).
- A molekulák külső erő (mechanikai vagy elektromos) hatására meg tudják változtatni az orientációjukat.
- Anizotrópiájuk miatt, mint polarizációmódosító eszközökként működnek.

Milyen anyagot nevezünk kristálynak?

- Szilárd halmazállapotú anyag, amelyekben az atomok, molekulák vagy ionok szabályos rendben, a tér mindhárom irányában ismétlődő minta szerint helyezkednek el.
- Szabályos, sík lapoktól határolt egységű, vagyis homogén összetételű szervesetlen test, melynek alakja és anyaga között bennük, törvényszerű összefüggés van.

Miben különbözik a gyémánt az üvegtől?

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| • Gyémánt törésmutató | 2.4175–2.4178 |
| • Reflexió | 17,2 % |
| • Határszög | 24,4 fok |
| | |
| • Üveg törésmutató | 1,5 |
| • Reflexió | 4 % |
| • Határszög | 41,8 fok |

Milyen elemi cella típusokat ismerünk (rajzon mutassa be) és hány Bravais rácst!

7 db kristálytani osztály

4 db elemi cella típus

Bravais lattice	Parameters	Simple (P)	Volume centered (I)	Base centered (C)	Face centered (F)
Triclinic	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} \neq \alpha_{23} \neq \alpha_{31}$				
Monoclinic	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$ $\alpha_{12} \neq 90^\circ$				
Orthorhombic	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				
Tetragonal	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				
(rhombohedral)					
Trigonal	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} < 120^\circ$				
Cubic	$a_1 = a_2 = a_3$ $\alpha_{12} = \alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				
Hexagonal	$a_1 = a_2 \neq a_3$ $\alpha_{12} = 120^\circ$ $\alpha_{23} = \alpha_{31} = 90^\circ$				

14 db Bravais rácst

egyszerű köbös
tércentrált köbös
lapcentrált köbös

egyszerű tetragonális
tércentrált tetragonális

egyszerű ortrombos
alaplapon centrált ortorombos
tércentrált ortorombos
lapcentrált ortorombos

egyszerű egyhajlású
alaplapon centrált egyhajlású

háromhajlású
romboédere
hexagonális

Mit határozhatunk meg a törésmutató ellipszoid segítségével? Rajzon ismertesse!

Az elektromágneses hullám energiája

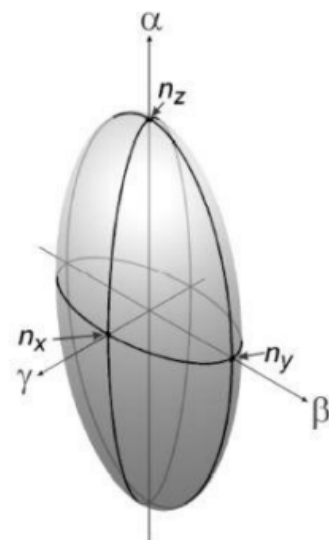
$$U = \frac{1}{2} \mathbf{E} \cdot \mathbf{D}$$

$$\begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{bmatrix} = \epsilon_o \begin{bmatrix} n_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & n_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & n_z^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix}$$

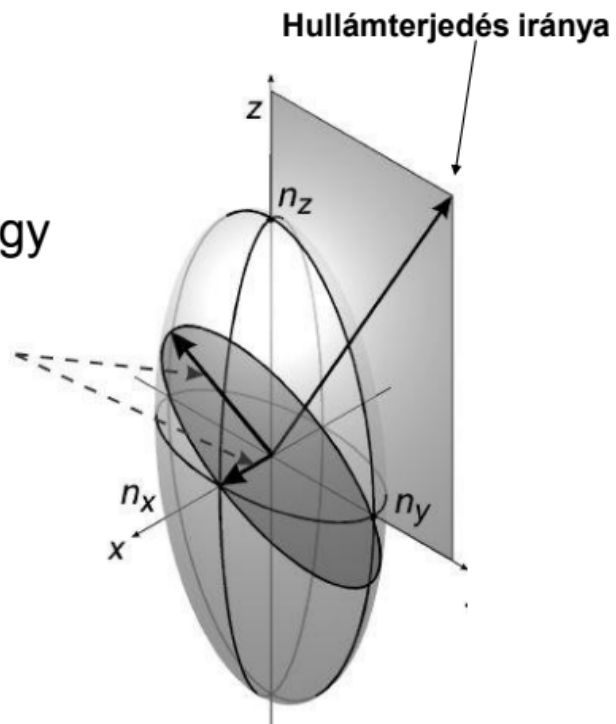
$$U = \frac{1}{2} \left[\frac{D_x^2}{\epsilon_o n_x^2} + \frac{D_y^2}{\epsilon_o n_y^2} + \frac{D_z^2}{\epsilon_o n_z^2} \right]$$

$$\frac{\left(\frac{D_x}{\sqrt{2\epsilon_o U}} \right)^2}{n_x^2} + \frac{\left(\frac{D_y}{\sqrt{2\epsilon_o U}} \right)^2}{n_y^2} + \frac{\left(\frac{D_z}{\sqrt{2\epsilon_o U}} \right)^2}{n_z^2} = 1$$

$$\frac{\alpha^2}{n_x^2} + \frac{\beta^2}{n_y^2} + \frac{\gamma^2}{n_z^2} = 1$$



A hullámterjedésre merőleges sík és az ellipszoid metszete egy ellipszis lesz, amely kijelöli a terjedési irányhoz tartozó polarizáció irányokat és törésmutatókat



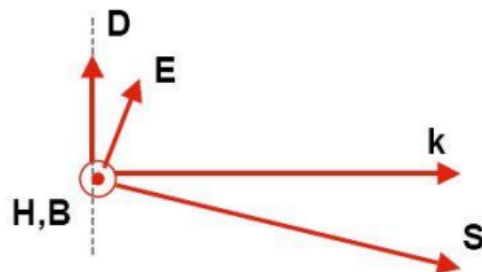
Mi az oka annak, hogy kristályokban a hullámterjedés és az energiaterjedés iránya nem mindig esik egybe?

Síkhullámra igaz, hogy $\vec{k} \times \vec{H} = \omega \vec{D}$ **D** merőleges **k**-ra és **H**-ra
 $\vec{k} \times \vec{E} = \omega \mu_0 \vec{H}$ **H** merőleges **k**-ra és **E**-re

Az energiaterjedés iránya (Pointing vektor)

$$\vec{S} = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}^*$$

S merőleges **E**-re és **H**-ra

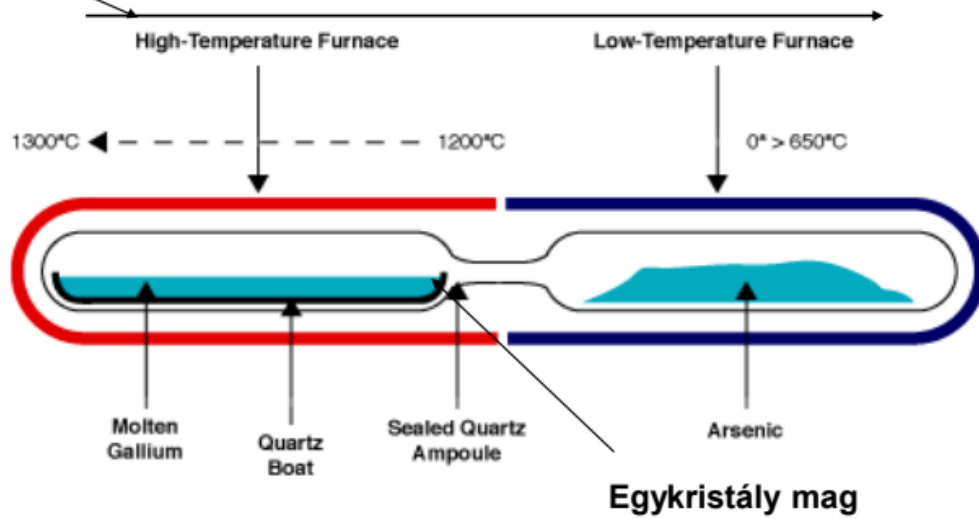


Milyen kristály előállítási eljárásokat ismer? Egyiket rajzon ismertesse!

- Bridgman-Stockbarger módszer
- GaAs kristályok előállítása - olvadékból

Ampulla mozgatása

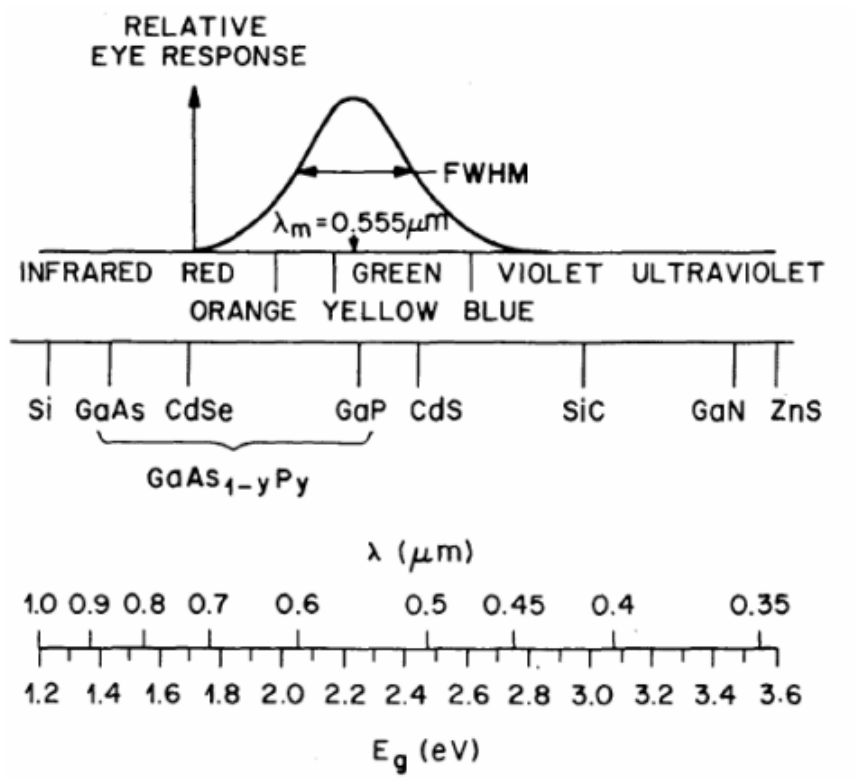
Gallium Arsenide Synthesis by Horizontal Gradient Freeze



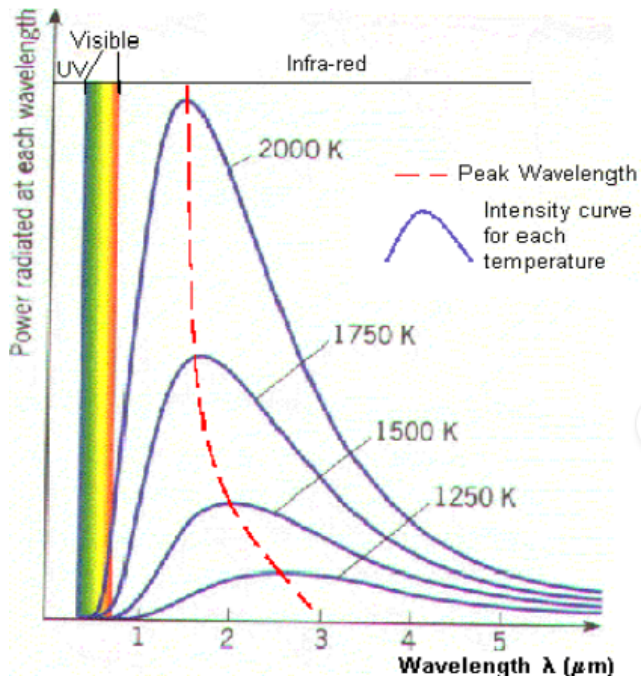
Mi a radiometria és a fotometria? Rajzolja fel vázlatosan az emberi szem érzékenységi görbáját!

- Radiometriai egységek: a sugárzás által vitt energiára vonatkoznak, ezek az SI mértékrendszer részei.
- Fotometriai egységek: Ezek az emberi szem által érzékelt spektrális tartományra és az ember "fényérzetére" vonatkoznak.

Mennyiség	Radiometria	Fotometria
Fényáram	W	lumen
Fényerősség	W/szteradián	kandela
Megvilágítás	W/m ²	lux = lumen/m ²



Vázolja a Wien-féle eltolódási törvényt grafikonon!



Mi a szöveges megfogalmazása a törvénynek?

- A hőmérséklet növekedésével a maximumhoz tartozó hullámhossz csökken.

Mutassa be az izzólámpa működését! Térjen ki a gáztöltés szerepére!

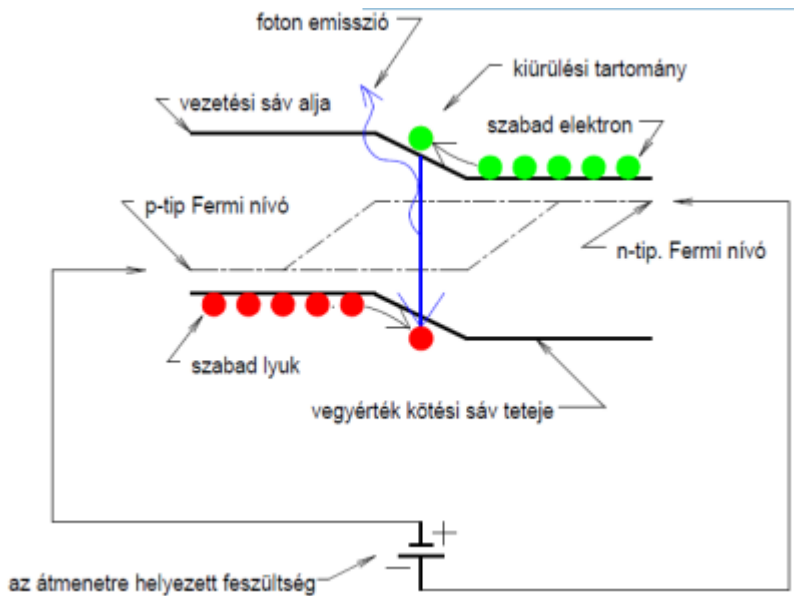
- Az izzószál magas hőmérséklete (2500-3100 °C) elektromágneses energiát sugároz, főként infravörös és kisebb részben látható fény tartományban. Volfrám jól közelíti az ideális feketetest tulajdonságait. A szál hőmérséklete megadja mind fény spektrumát és az elérhető maximális fényhasznosítást.
- A magas hőmérséklet alacsony élettartamot jelent, a megnövekedett párolgás miatt. Az elpárolgott volfrám a bura falon lecsapódik, és rontja a fényáteresztő képességét. A bura anyaga leggyakrabban lágýüveg, halogénizzók esetén keményüveg vagy kvarc.
- Gáztöltésű lámpa: a gázatmoszféra alapvető célja, hogy meggátolja a volfrám párolgását, illetve az elpárolgott volfrámot visszajuttassa a szál testébe.

Vázlatosan ismertesse a kisnyomású gázkisülőlámpák működését!

- Fizikai alapok: gázon vagy gőzön áram folyik át, sugárzási jelenségek lépnek fel. A sugárzás az ütközések következtében magasabb energiaállapotokba gerjesztett vagy ionizált atomokból ered. A gázkisülés spektruma sávös/vonalas szerkezetű.
- Működés alapja: ívkisülés, felhevített elektródból elektronok lépnek ki, ezek ütköznek a közeg atomjaival, és gerjesztik ill. ionizálják őket. Gerjesztett és ionizált anyag (plazma)
 - Higanygőz: fénycső, higanylámpa
 - Nátriumgőz: nátriumlámpa
 - Egyéb fémek gőze: fémhalogén lámpák
 - Gáz: xenonlámpa
- KISNYOMÁSÚ FÉNYFORRÁSOK: Nyomás: néhány száz Pa, áram: néhány A. Az ionizáció elektronütközésekből ered.

Mi az injekciós lumineszcencia? Mutassa be a folyamatot sáv szerkezet ábrán!

- Lumineszcencián nevezik azt a jelenséget amikor egy elektron magasabb energiájú állapotba való gerjesztés után az alapállapotba visszakerülve a többletenergiáját sugárzás kibocsátásával veszti el.
- PN átmenetben végbemenő töltéshordozó-injekció által keltett elektrolumineszcencia, ez a fénykibocsátó diódák illetve a lézerek alapvető működési mechanizmusa. Az injekciós lumineszcencia során a p és n típusú töltéshordozók nyitóirányú külső térerősség hatására a kiürülési tartományba injektálódva amin áthaladva rekombinálódnak, eközben fotont, bocsátanak ki. A kibocsátott fény hullámhossza a tiltott-sáv szélességével egyenlő.



Alapvetően miért nem alkalmas a Si fényemisszióra?

- Fizikai tulajdonságai miatt nem alkalmas., indirekt sáv szerkezete van, ezért a rekombináció valószínűsége kicsi.

Milyen félvezetőkől készülnek a fényemittáló eszközök, és miért?

- Direkt sáv szerkezetű félvezetőkben (pl. GaAs, InP, InGaAs, GaN) az impulzus-megmaradás feltétele Γ -pontbeli sáv szélsőértékek közötti átmenetnél teljesül, ezért a sugárzásos rekombináció valószínűsége nagy.
- Indirekt sáv szerkezet esetén (pl. Si, SiC, GaP) a harmadik részecske (fonon) elkerülhetetlen részvétele miatt a rekombináció valószínűsége lényegesen kisebb. A sugárzásos rekombinációs valószínűség elméletileg becsülhető értéke 300 K-en direkt sáv szerkezetű III-V félvezetőkben $5 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-9} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$, míg indirekt sáv szerkezet esetén $5 \times 10^{-14} - 2 \times 10^{-15} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$. A különbség 3-5 nagyságrend! Ez a magyarázata többek között annak, hogy pl. miért nincs Si lézer! A gyakorlatban tehát fénykibocsátó eszközök létrehozásához vegyület-félvezetőket, elsősorban a direkt sáv szerkezetű III-V és részben a II-VI típusúakat használnak (pl. GaAs).

Vázolja fel, hogy hogyan függ a félvezető eszközök tiltottsáv-szélessége, és rácsállandója az összetételtől?

Mi a következménye annak, hogy a vegyületfélvezetők esetében „folytonosan” változtatható az összetétel?