

Műszaki lézerfizika

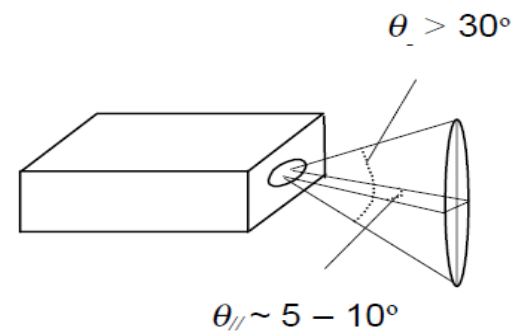
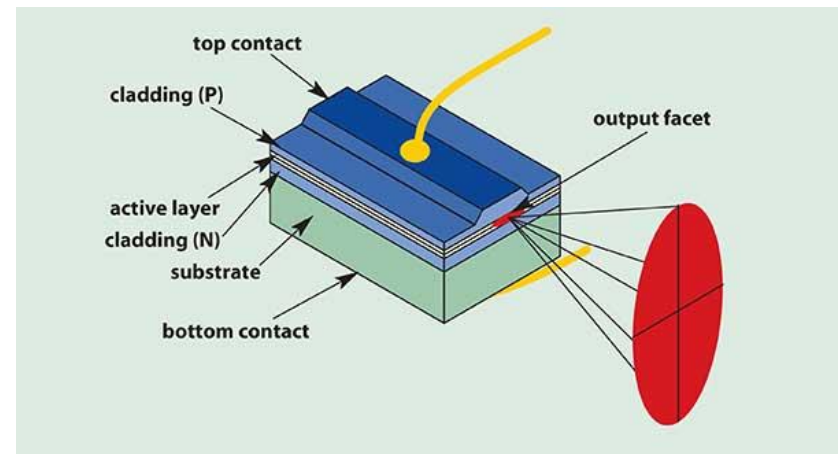
7. előadás: Különleges lézerek

Heteroátmenetes félvezető lézer/2

A GaAlAs optikai tulajdonságai különböznek a GaAs-étől. Az elrendezés szempontjából a törésmutató különbözőségének van döntő jelentősége. A GaAs törésmutatója ugyanis 6 %-kal nagyobb, mint a GaAlAs-é. Ezáltal a keletkező fény az aktív rétegben koncentrálódik.

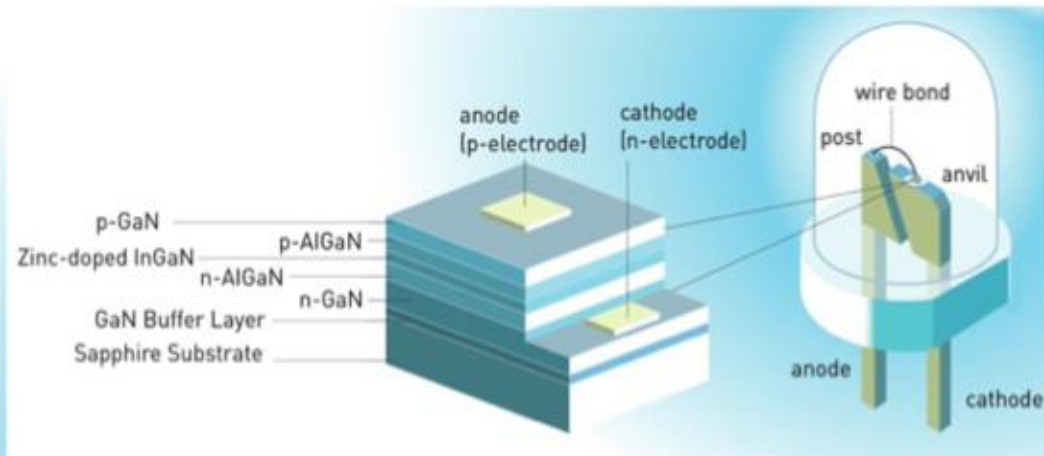
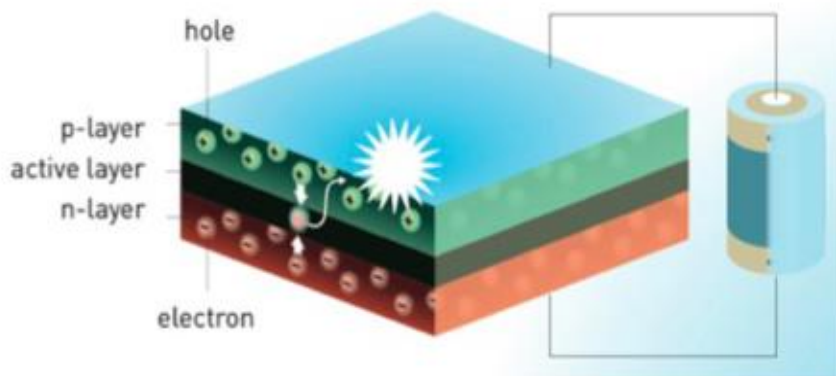
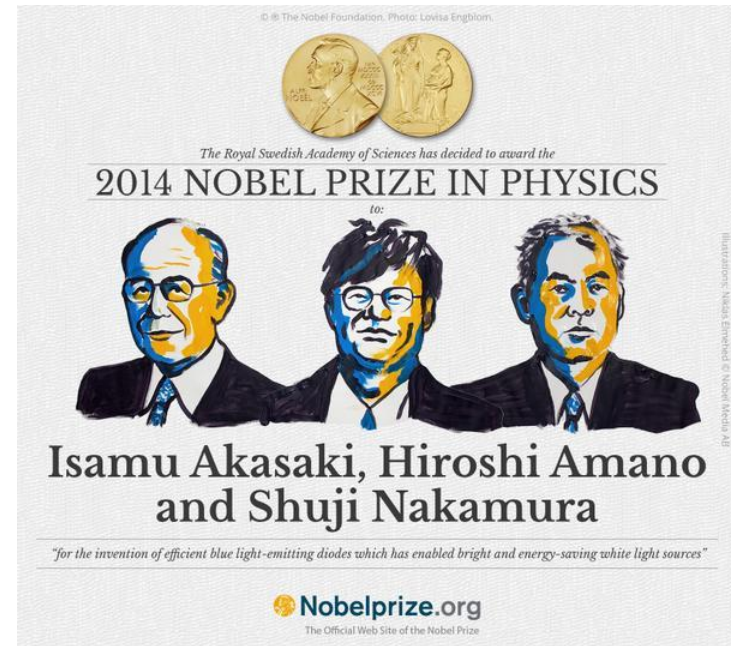
Így tehát a GaAlAs nagyobb sávszerkezetével az elektronokat, kisebb törésmutatójával pedig a fényt koncentrálja az aktív rétegbe.

A hullámhosszal összemérhető emittáló felület miatt a félvezető lézerekből kilépő nyaláb erősen divergens, a divergencia szöge általában különbözik az átmenettel párhuzamos és merőleges irányban. A kilépő nyaláb általában asztigmatikus, elliptikus Gauss-nyaláb.



Heteroátmenetes félvezető lézer/3

Aktív anyag/szubsztrát	Működési hullámhossz (nm)
InGaN/GaN	360-525
SiC	470
GaP	550-590
GaAs _{0.15} P _{0.85}	589
AlGaInP/GaAs	625-700
GaAs _{0.35} P _{0.65} /GaAs	632
GaAs _{0.6} P _{0.4} /GaAs	650
GaAsP/GaAs	700
Ga _{1-x} Al _x As/GaAs	650-900
GaAs	910-1020
InGaAsP/InP	600-1600



Ismétlő kérdések

Melyik állítás jellemző a Nd: YAG lézerre? (Három választ kell megjelölni!)

- a) az egyik legnagyobb teljesítményű lézertípus
- b) három energiaszintű lézer
- c) gerjesztése félvezető lézerrel is történhet
- d) az első Magyarországon működő lézer ilyen volt
- e) működése közben a neodímium atomok két energiaszintje között populáció inverzió áll fenn
- f) a gerjesztési energia átadása a két gáz között másodfajú ütközéssel történik

Párosítsuk össze a lézereket és a hullámhosszukat!

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| a) félvezető lézer | 1) 633nm |
| b) He-Ne lézer | 2) 10,6 μ m |
| c) Nd:YAG lézer | 3) 650nm, 808nm, stb.. |
| d) CO ₂ lézer | 4) 695nm |
| e) rubinlézer | 5) 1064nm |

Megoldás: a3, b1, c5, d2, e4

Ismétlő kérdések/2

A félvezető lézerek működésével kapcsolatos állítások közül válasszuk ki a hamis állítást!

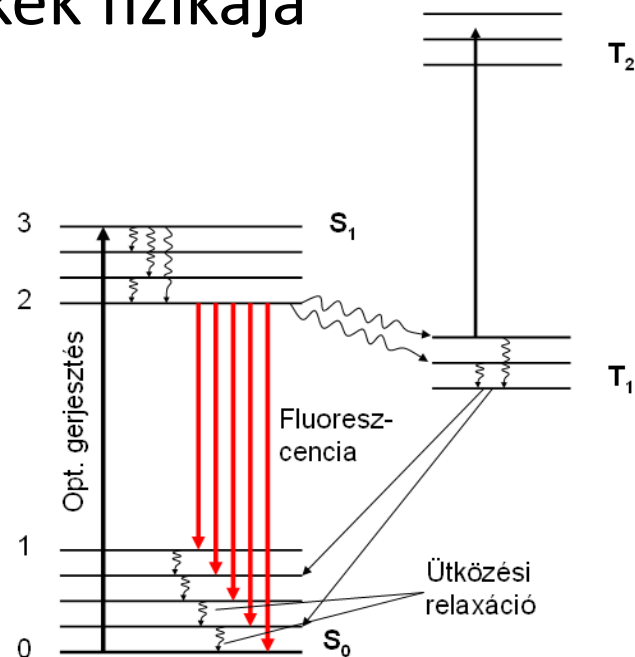
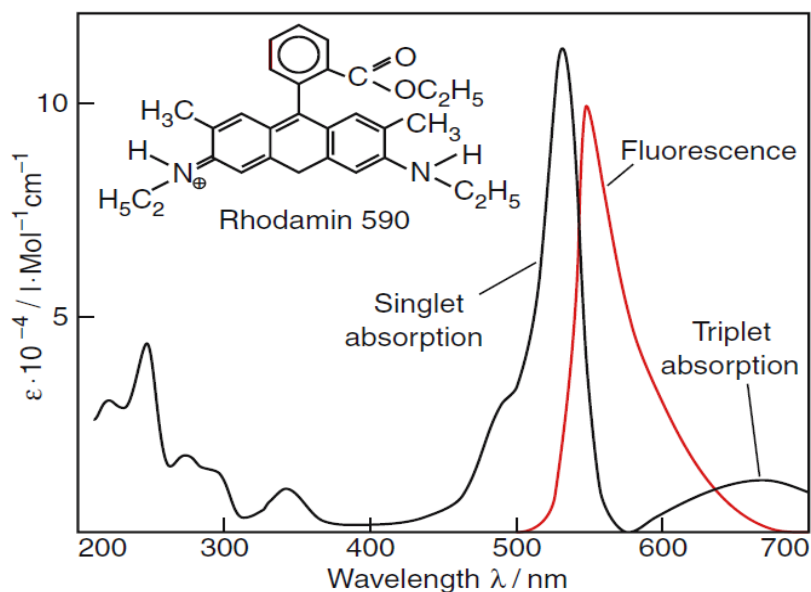
- a) Az átmeneti tartományban elektronok injektálódnak az n típusú rétegből a vezetési rétegbe
- b) Az indirekt sávátmenetű félvezetőkben a rekombinációhoz általában egy fonon közreműködése is szükséges
- c) A kibocsájtott foton impulzusa kb. egyezik a vezetési elektron impulzusával
- d) A vezetési sávból a vegyértéksávba fénykibocsátással csak olyan elektronátmenet lehetséges, amikor az elektron impulzusa gyakorlatilag változatlan marad

Tekintsük a heteroátmenetes GaAs félvezető lézert, amelyben a nagyon vékony GaAs aktív réteget mindkét oldalról GaAlAs ($\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$) határoló réteg veszi körül.

Válasszuk ki azt az állítást, ami nem jellemző erre a lézerre!

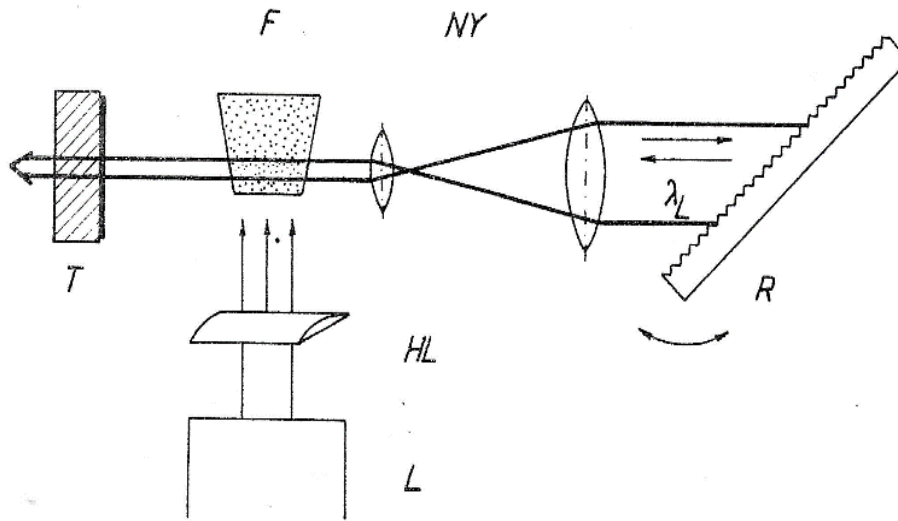
- a) kisebb áramsűrűség mellett jön létre az inverz betöltöttség, mint a "sima" GaAs lézerben
- b) a GaAlAs nagyobb tiltott sáv szélességével az elektronokat az aktív rétegbe koncentrálja
- c) a GaAlAs nagyobb törésmutatójával a fényt az aktív rétegbe koncentrálja
- d) populáció inverzió csak a vékony GaAs rétegben lesz

Festéklézerek / A festékek fizikája



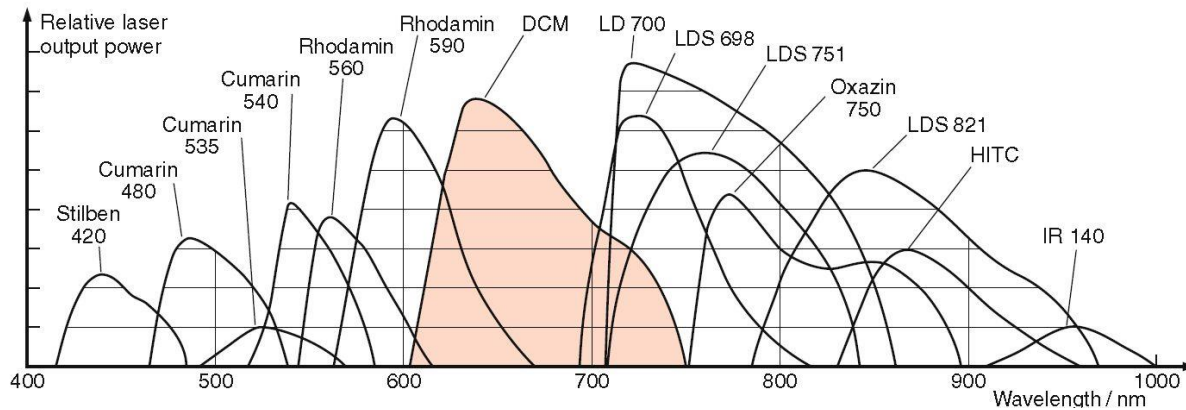
- A festékeknek sávos az energia diagramja, mert a vibrációs-rotációs szintek kiszélesedtek és átfednek.
- A gerjesztés az alsó sáv aljáról a teljes felső sávba történhet, tehát széles az abszorpciós sáv.
- A felső sávban az elektronok igen gyorsan (ps) a sáv aljára gyűlnek össze sugárzásmentes átmenettel, ezért az emittált fotonok kisebb energiájúak. Tehát a festékkoldat a saját sugárzását átengedi.
- A felső sáv alja az alsó sáv tetejével könnyen populáció inverzióba kerül.
- A triplet állapotokba csapdázódott elektronok zavaróak.

Festéklézerek felépítése

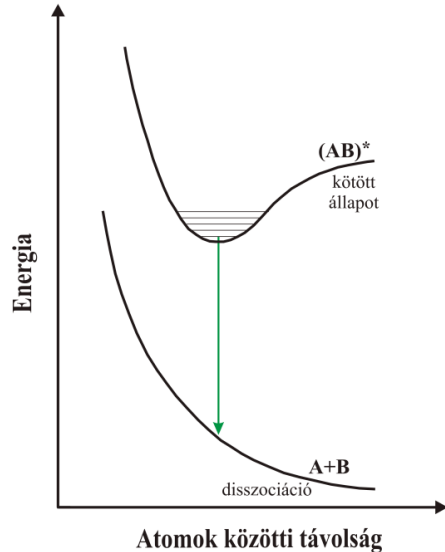


28. ábra. N_2 -lézerrel pumpált hangolható festéklézer szokásos felépítési vázlata. *F*: festékoldatot tartalmazó küvetta, *L*: pumpáló N_2 -lézer, *HL*: hengerlencse, *NY*: nyalábtágító optikai rendszer, *R*: forgatható reflexiós optikai rács, *T*: kicsatoló tükör. A kilépő lézersugárzás λ_L hullámhossza az *R* forgatásával a fluoreszcenciasávon belül folyamatosan változtatható

- A festéklézer igen széles frekvencia tartományban működhet, ez a tartomány természetesen a gerjesztő lézer frekvenciája alatt van.
- A hangolást optikai rács (esetleg prizma) finom beállításával lehetséges.
- Különböző festékekkel a teljes optikai tartomány lefedhető



Az excimer lézerek



Az excimer lézerben olyan kétatomos molekula vesz részt, amely csak gerjesztett állapotban stabil (excimer=excited dimer). Ezáltal a populáció inverzió automatikusan létrejön (mivel az alapállapot üres).

Az ábra az excimer molekulákra jellemző potenciális energia görbéket mutatja. Látható, hogy az alapállapot taszító jellegű, ezért a gerjesztés megszűnésekor a molekula azonnal (ps időskálán) disszociál.

Mivel az elektronállapotok közötti energiakülönbség nagy, az excimer lézerek is ultraibolya tartományban sugároznak.

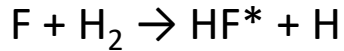
Az első ilyen típusú lézer Xe_2 dimeren (172 nm), míg a napjainkban elterjedtebb változatok egy nemesgáz (Ar, Kr, Xe) és egy halogén (F, Cl) atomból álló gerjesztett molekulán alapulnak. A gerjesztett nemesgáz-halid molekulák egy elektron-ütközéssel gerjesztett nemesgáz atom és egy alapállapotú halogén atom reakciójából jönnek létre.

Az excimer lézerek jellemzője, hogy időszakos gázcserét igényelnek és általában a gázkeverék változtatásával különböző hullámhosszakon működtethetők.

A fontosabb típusok: XeF (353 nm), XeCl (308 nm), KrF (248 nm), ArF (193 nm).

Kémiai lézerek

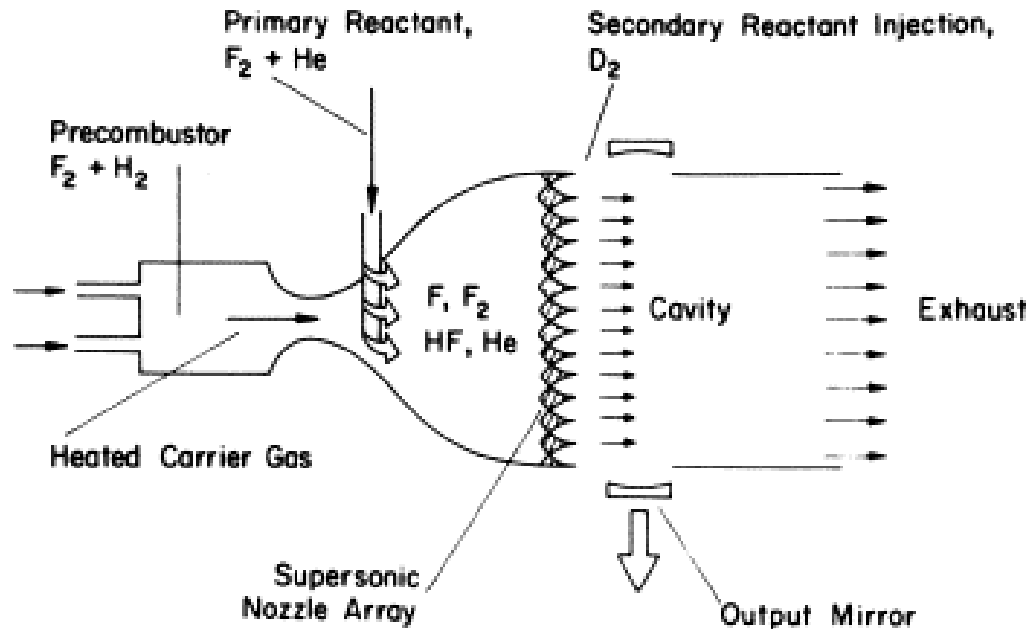
Felépítésük hasonló a excimer lézer típushoz, de az energiát kémiai folyamat biztosítja (nem elektromos hálózat), tehát ezek a lézerek mobilisak, terepiek.



Ez a lézer aktív anyaga

A $\text{H}_2 - \text{F}_2$ lézer $2,6 - 3,5 \mu\text{m}$ tartományban működik.

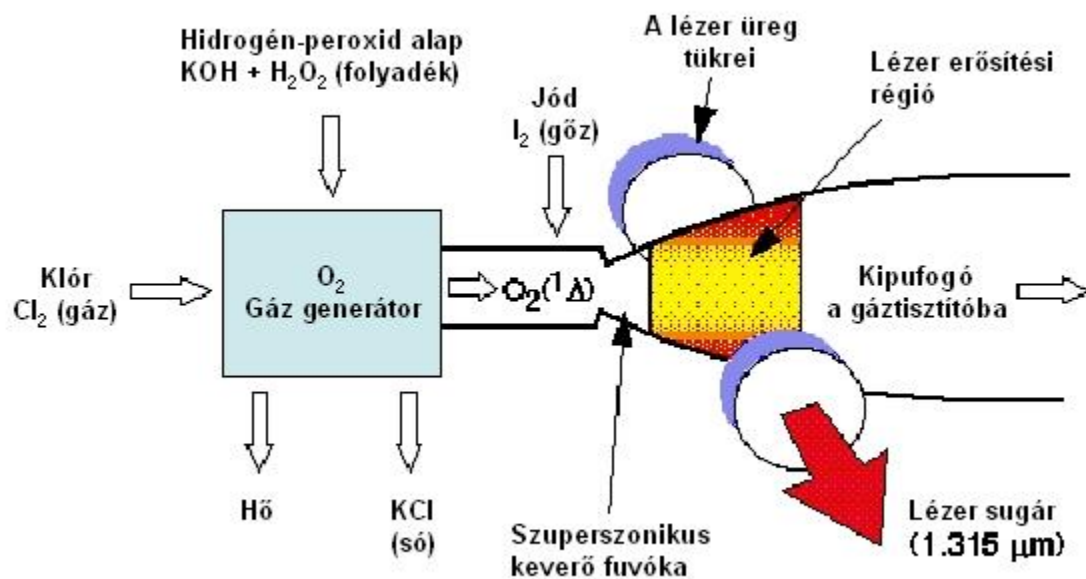
Felhasználása a katonai alkalmazásokban használják. Nagy teljesítményt el lehet vele érni.



Kémiai lézerek/2

Sokféle reakcióval működő kémiai lézer létezik.

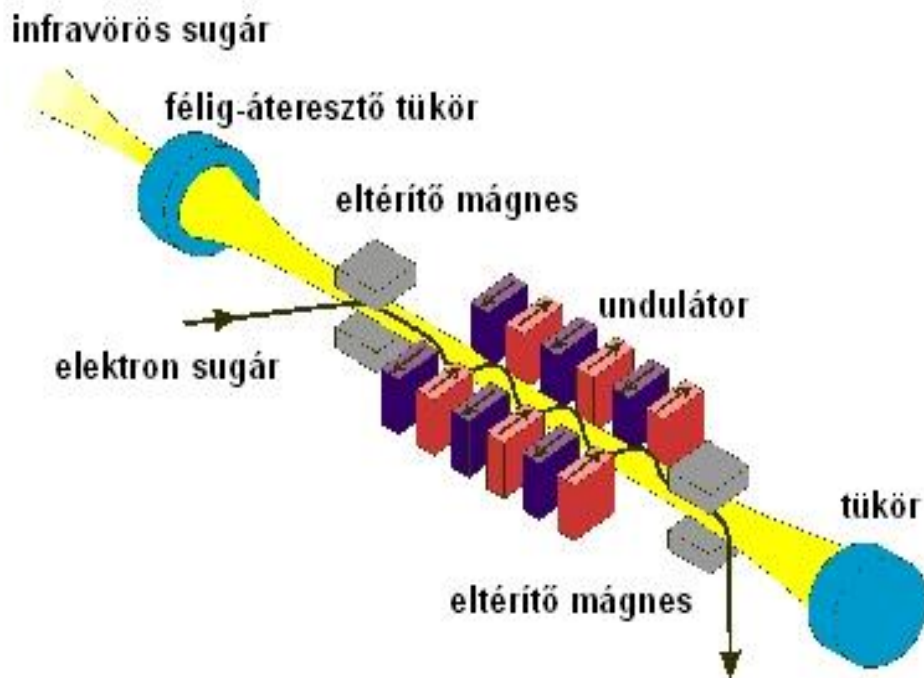
Pl. itt egy másik:



A kémiai lézereknek a harcászatban lehet majd jelentősége Kézi fegyverként vagy repülőgépre szerelve



Szabadelektron lézerek



A lézerekre jellemző koherenciával csak akkor fog rendelkezni, ha létrehozuk a tükör rezonátort is. A rezonátorban oda-vissza verődő sugárzás kölcsönhat az elektronokkal, azokat (mikrométerű) csomókba rendezi. Ennek hatására az elektronok koherensen kezdenek sugározni.

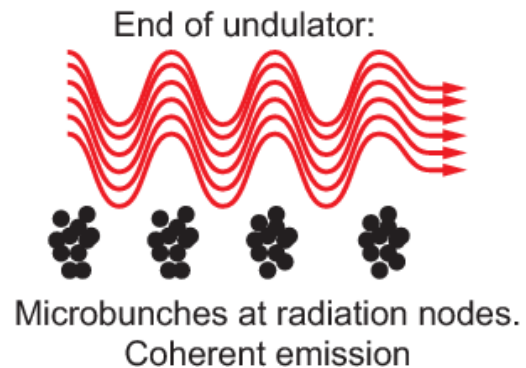
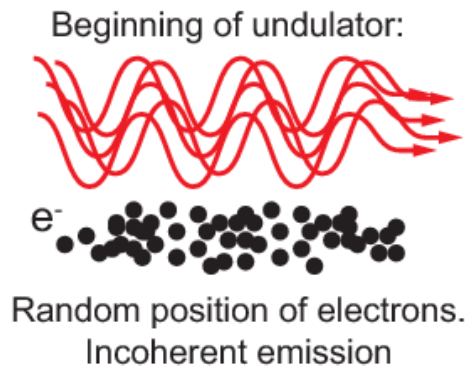
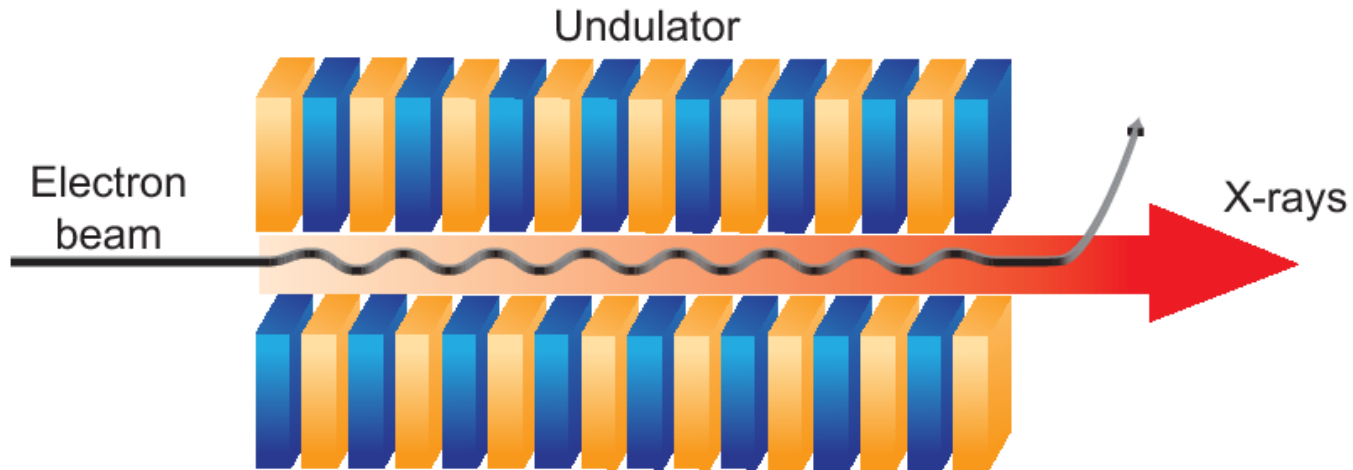
Ennek az a feltétele, hogy az elektronok és a keltett sugárzásuk jó közelítéssel együtt haladjanak, azaz $v \sim c$ legyen. (Például 50 MeV elektron energiánál $v=0,99995c$, ennél azonban sokkal nagyobb energiákról van szó.)

A szabadelektron lézerben (SZEL) a lézerefény előállítását elektron gyorsítással kezdődik. Az elektronokat egyenes pályán fénysebességhez igen közeli sebességre gyorsítjuk, majd átvezetjük őket egy periodikus mágneses téren (undulátor).

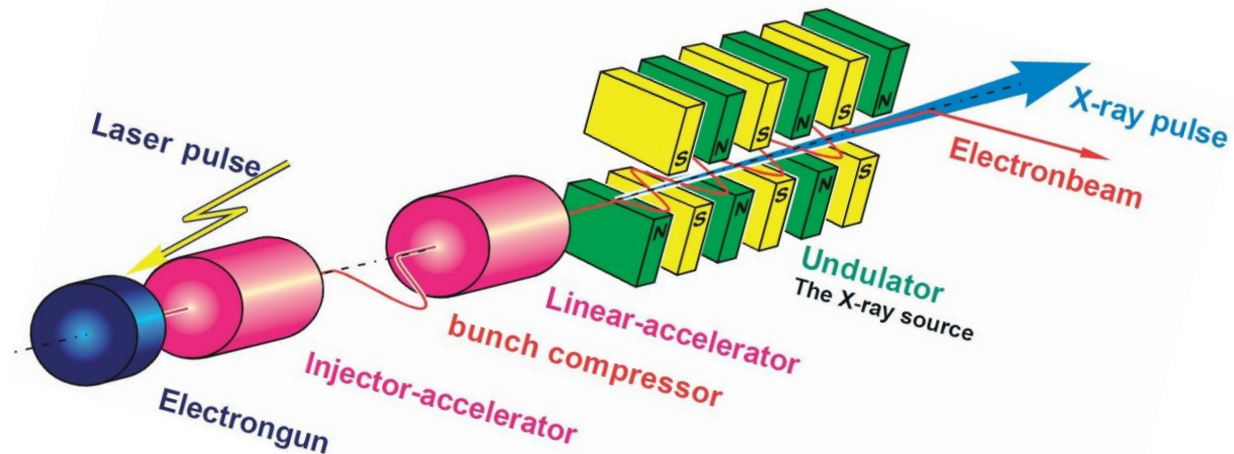
Ebben a térben az elektronok a Lorentz-erő miatt hullámos pályára kényszerülnek. Ez periodikusan változó (oldalirányú) gyorsulást jelent, a gyorsuló töltések pedig elektromágneses sugárzást bocsájtanak ki.

Ez a sugárzás (jó esetben) monokromatikus és előre irányított lesz, hasonlóan a többi szinkrotron sugárzáshoz. A sugárzás azonban ezen a ponton még inkoherens.

Szabadelektron lézerek/2



Szabadelektron röntgenlézerek/XFEL



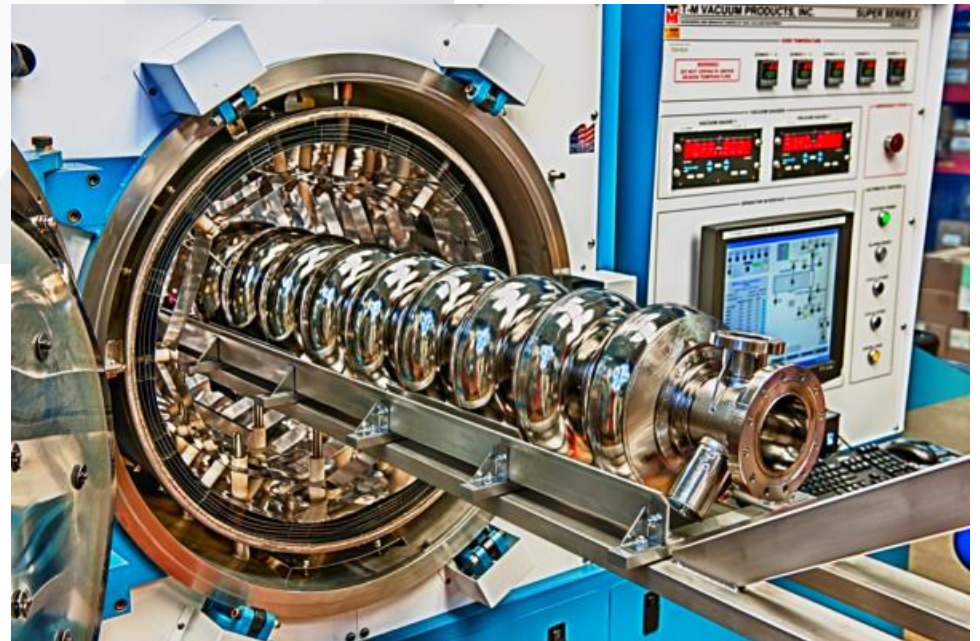
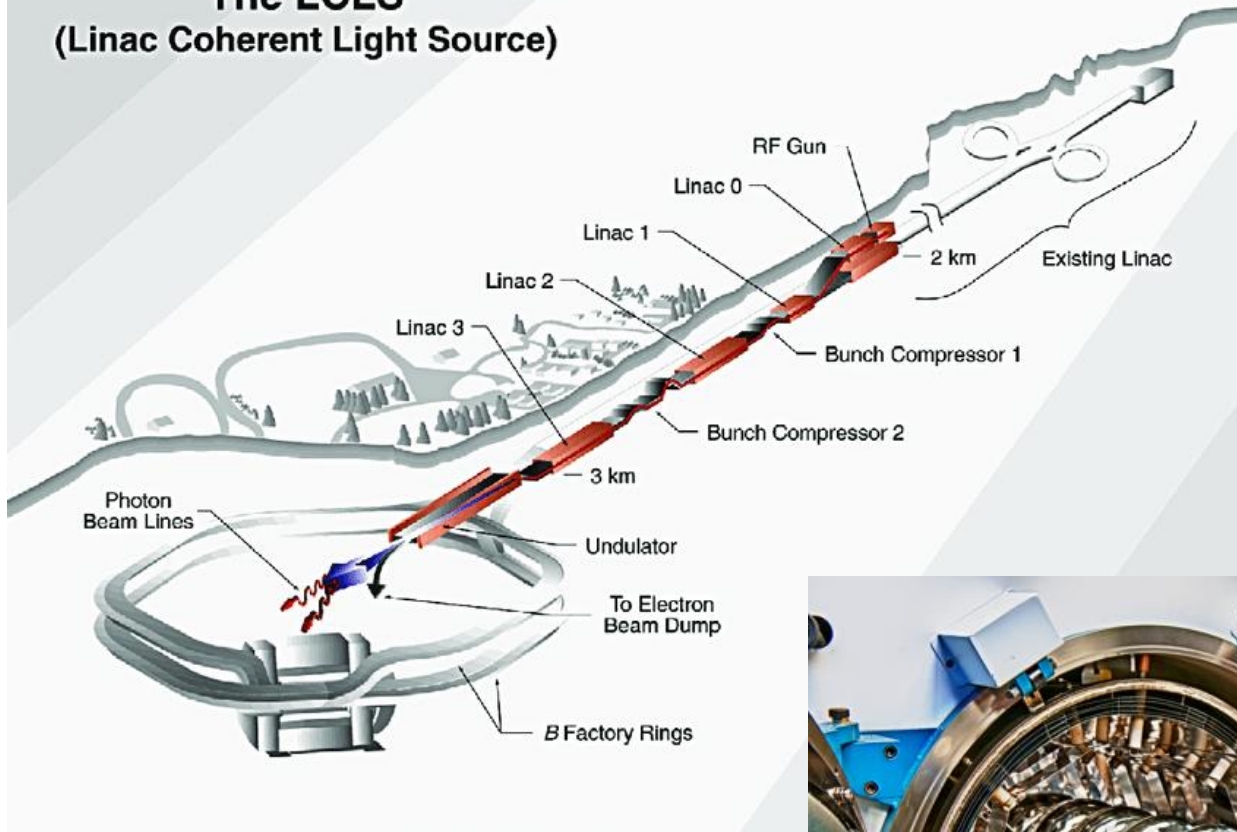
Az elektronok energiájával a sugárzás hullámhossza beállítható. Igen nagy energiájú elektronokkal távoli UV, sőt akár röntgen sugárzás is kelthető. Ilyen kis hullámhosszúságú sugárzásokra megfelelő tükör nem létezik. A röntgen tartományban működő szabadelektron lézerek tehát tükör rezonátort már nem tartalmazhatnak.

Napjainkra számos technika kialakult ennek a problémának a kezelésére. Ezek egyikében beoltás (angolul: seeding) segítségével lehet jó időbeli koherenciával rendelkező UV ill. rtg. impulzusokat előállítani. Ez a technika abból áll, hogy az undulátorba az elektronsomaggal egyidejűleg beküldenek olyan lézerimpulzust aminek a frekvenciája a rezonancia frekvencia, vagy annak páratlan tört része. Ilyen impulzust ultrarövid impulzusok magasharmonikus keltésével (angolul: high harmonic generation, HHG) lehet előállítani.

Szabadelektron röntgenlézerek/XFEL/2

- A röntgendiffrakciós vizsgálatokban alkalmazható $1,6 \text{ \AA}$ hullámhosszú lézerimpulzusokat kb. 6 GeV-es elektronokkal lehet előállítani. Míg a 2 MeV energiájú elektroncsomagok közvetlenül előállíthatóak egy 1-2 méter hosszú elektronágyúval, addig a 6 GeV energiájú elektroncsomagok előállításához már nagyon összetett rendszerre van szükség, amely több gyorsító szakaszból áll, amelyek között elektroncsomag fókuszáló, manipuláló és diagnosztizáló eszközök helyezkednek el. A mikrohullámú elektrongyorsítókkal maximum 30 MeV/m gyorsítási gradienst lehet elérni. Ez alapján 6 GeV eléréséhez legalább 200 m tiszta gyorsítási hossz szükséges. A kiegészítő eszközök miatt az ilyen gyorsító hossza tipikusan több mint 500 m.
- A SZEL-ek tehát nagy, bonyolult és ennek megfelelően igen költséges berendezések. Így világszerte mindössze néhány tucat működik belőlük. A nagy bekerülési és fenntartási költségük ellenére azért építenek ilyen berendezéseket, mert olyan kutatásokat lehet velük elvégezni, amelyeket semmilyen más eszközzel sem. A ma működő legmodernebb SZEL a Kaliforniában, Stanfordban 2010-re megépített LCLS röntgen szabadelektron lézer.
- Hozzánk legközelebb a Trieszt-i berendezés van (ELETTRA and FERMI lightsources, <https://www.elettra.trieste.it/>).

The LCLS (Linac Coherent Light Source)





XFEL Pohang (Dél-Korea)

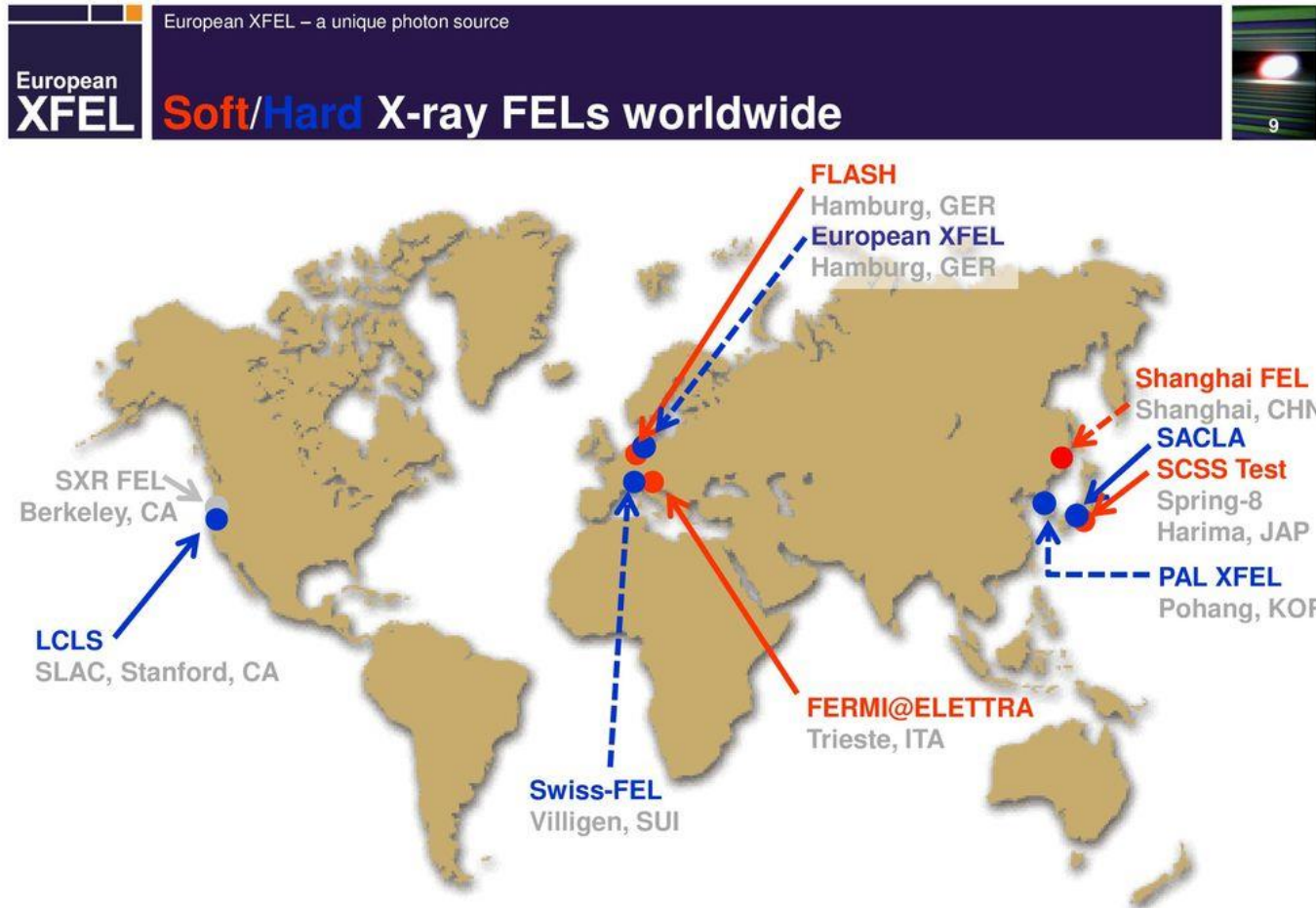




SACLA Harima, Japan



Szabadelektron röntgenlézerek a világban/XFEL/3



A Trieszt-i berendezés (ami XFEL is)

