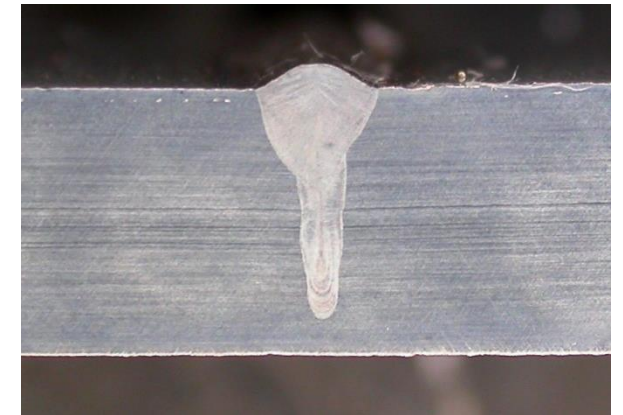
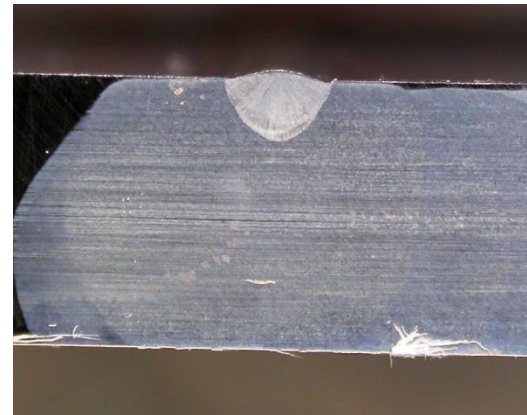
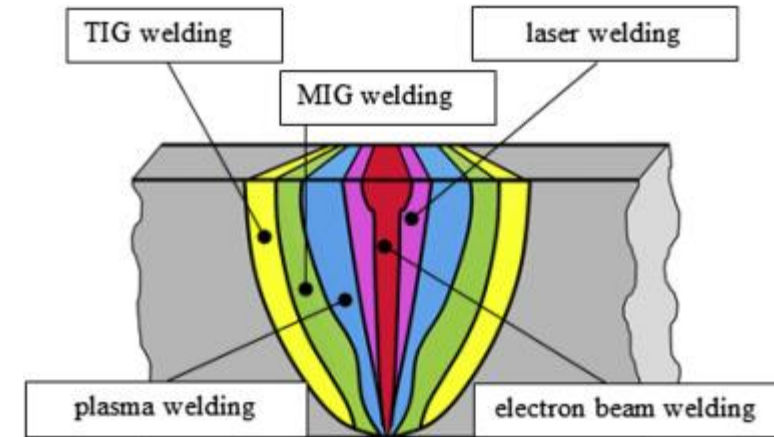


Hegesztés

Nagy energiasűrűségű eljárások

Nagy energiasűrűségű hegesztő eljárások

- A teljesítmény sűrűség eléri a 10^4 W/cm² értéket
- Eljárások:
 - Plazma hegesztés
 - Elektronsugaras hegesztés
 - Lézersugaras hegesztés
- Közös jellemzők:
 - Kis hőbevitel
 - Keskeny, mély beolvadású varrat
 - Keskeny hőhatás övezet
 - Kulcslyuk hegesztés alkalmazható

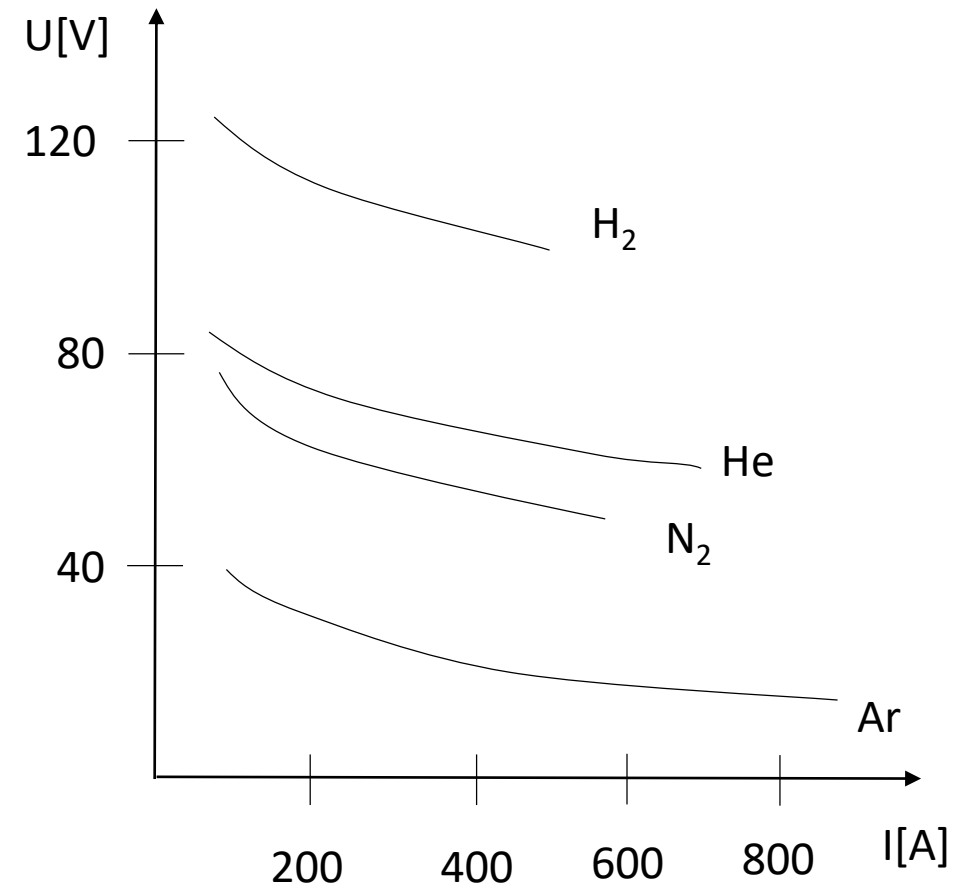


Plazma hegesztés

- Plazma fogalma: Magas hőmérsékletű ionizált gázokat tartalmazó közeget plazmának hívjuk.
- Ionizációs tényező alapján két jellegzetes plazma tartomány
 - Fizikai plazma
 - ionizációs tényező közelíti az egyet
 - Szinte csak ionokat és elektronokat tartalmaz
 - Hőmérséklete tízmillió fok nagyságrendű
 - Technikai plazma
 - Kismértékben ionizált
 - Ionizációs tényezője 10^{-4}
 - Hőmérséklete 5000-50000 °C
 - Molekulák, atomok, ionok és elektronok keveréke

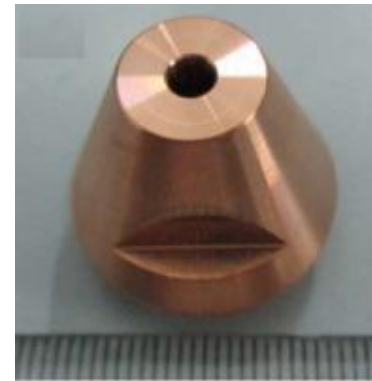
Plazma tulajdonságai

- Kevésbé flexibilis, mint a lézer vagy az elektronsugár
- Gyors mozgatása, pozicionálása, energiájának gyors változtatása nehézkes
- Megfelelő fókuszlalással, égőfejjel 10^6 W/cm² teljesítmény sűrűség is elérhető
- Előállítása nagy energiát igényel
 - Pl. $N_2 \rightarrow 2N \rightarrow 2N^+ + 2e^- \rightarrow 2N^{2+} + 4e^-$
- Jó hő és villamos vezető képességgel rendelkezik, ami hőmérséklet függő
- Áramerősség-feszültség karakterisztikája eltér az ív karakterisztikától



Plazma előállítás

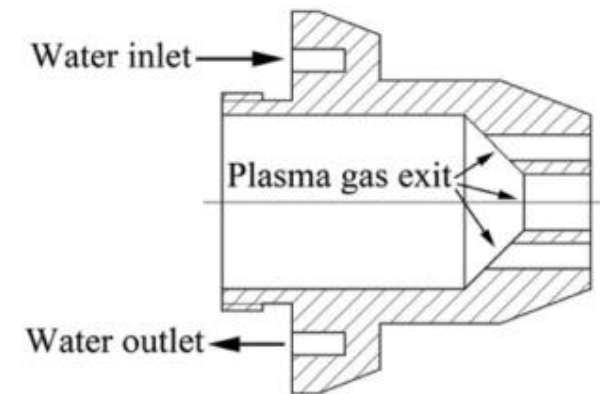
- Villamos ív segítségével
 - Villamos íven keresztül vezetett gázokkal
 - Plazmafúvóka biztosítja a nagy érintkezési felületet
 - A plazmán átfolyó áram mágneses tere beszűkíti a plazma nyalábot
 - Külső hűtéssel tovább koncentrálható az energia
- Tekercsben indukált változó mágneses tér segítségével



(a) the ordinary nozzle



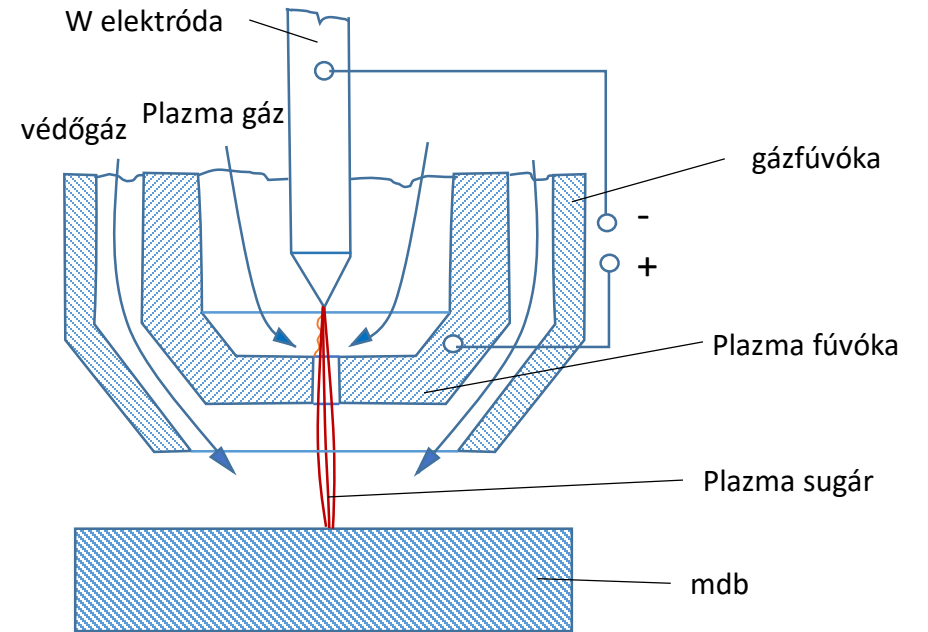
(b) the special nozzle



(c) profile view of (b)

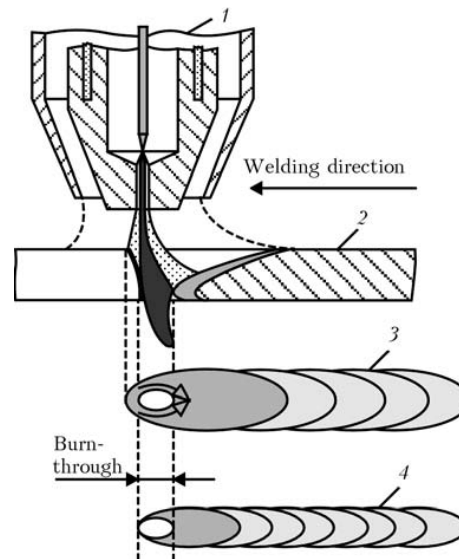
Eljárás változatok

- Plazmasugár hegesztés (belső ívű)
 - Ív az elektróda és a fúvóka között ég
 - A plazmasugárban nem folyik áram
 - Nem vezető anyagok hegesztése, vágása
 - Axiális irányú mágneses térrel a belső ívet forgásra kényszerítik
 - Plazmaképző gáz érintőleges bevezetésével az áramlás örvényessé válik
 - Fúvóka nagy hőterhelésnek van kitéve



Technológia

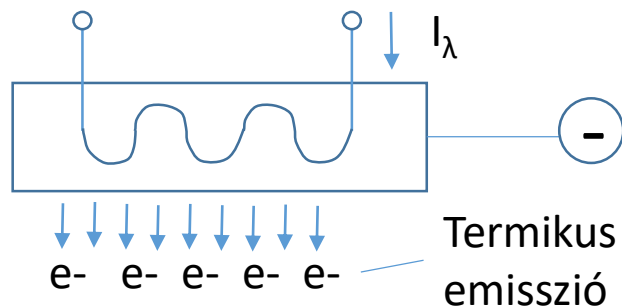
- $s \leq 10$ mm technológia az AVI-hoz hasonló
- $s \geq 3$ mm kulcslyuk hegesztés
- Mikroplazma hegesztés
 - $s = 0.1 - 1.5$ mm
 - $I = 0.1$ A, de pulzáló árammal még kisebb lehet
 - Ív 10 mm-ig nyújtható
- Vastag anyagok hegesztése
 - Gépi hegesztéssel valósítható meg
 - A plazmaív átolvasztja a teljes keresztmetszetet, anélkül, hogy a hegfürdőt szétfújná
 - A sugárnak a gyökoldalon szabad kilépése kell hogy legyen
 - Gyökoldali védelem külön szükséges



- Előnyei
 - Koncentrált ív, kisebb hőbevitel
 - Az ívnél merevebb, irányíthatóbb
 - Kisebb hőhatás övezet, defrmáció
 - Kevésbé érzékeny az ívhosszra
 - Nagyobb hegesztési sebesség
- Hátrányai
 - Drágább berendezés (2-5x AVI)
 - Nagyobb pisztoly méret
 - Több paraméter
 - Pontos elektróda, fúvóka beállítás

Elektronsugaras hegesztés

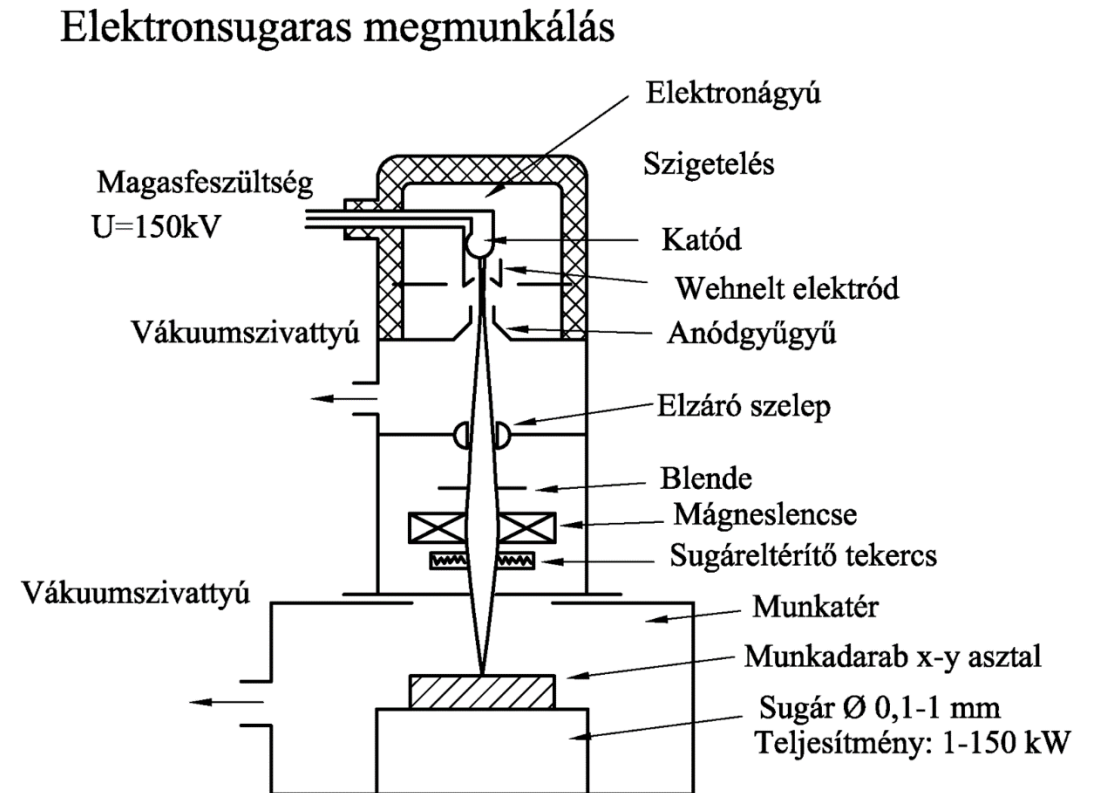
- Elve: felgyorsított elektronok anyagba ütközésekor felszabaduló hőt használják fel.
- Sugárforrás: elektromos úton gerjesztett katód



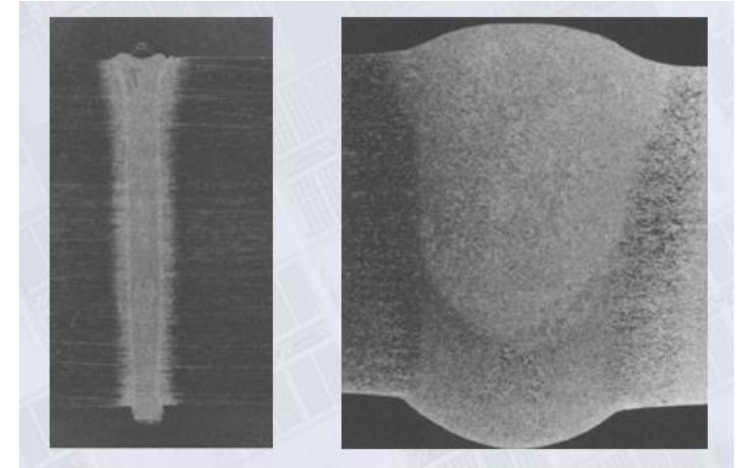
- Katód anyagok: W, Ta, Th, Ba
- Homogén fémkatódok váltak be legjobban
- Elektronok sebessége:
$$v = \sqrt{\frac{2e}{m_e} U_{gy}} \approx 600 \sqrt{U_{gy}} \text{ [km/s]}$$
- Gyorsító feszültség: $U_{gy} = 10\text{-}200 \text{ kV}$
- Mágneses térben a mozgó elektronokra erő hat $\underline{F} = (\underline{v} \times \underline{B}) e$
- Mágneses térrel szabályozni lehet az elektronok mozgását
 - Mozgatni, irányítani és fókuszálni lehet a sugarat
 - $d_e = 0.0002\text{-}8 \text{ mm}$ -re lehet fókuszálni

Berendezés felépítése

- Főbb részei:
 - Elektron ágyú
 - Katód, gyűrű alakú anód
 - Felső vákuum kamra
 - Zsilip
 - Munkakamra
 - Elektromágneses lencse
 - Eltérítő tekercs
 - Mdb manipulátor (forgató, mozgató)
 - Vákuum szivattyú ($p=10^{-4}-10^{-6}$ bar)
 - Ólom burkolat



Varrat alakja



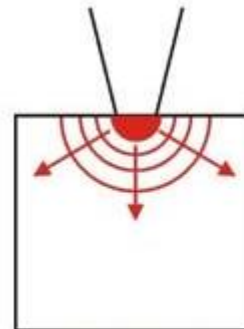
- Belső formatényező:

$$\varphi = \frac{H}{B} = 8..25$$

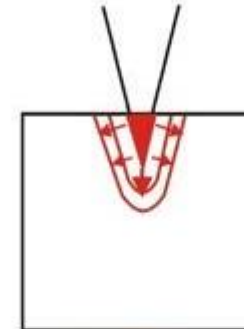
- Mélyhegesztési jelenség:

- Elektronok behatolási mélysége: $h = 2.6 \cdot 10^{-12} \frac{U^2}{\rho} [\mu\text{m}]$
- Gyors lefékeződés → hőenergia
- Hő felszabadulása gyorsabb, mint a hőelvezetés
- Gőzbuborékok keletkeznek az olvadékban
- Felszínre érve egy gőzzel teli lyuk keletkezik (kulcslyuk – keyhole)
- Gőznyomás tart egyensúlyt az ömledék hidrosztatikus nyomásával.

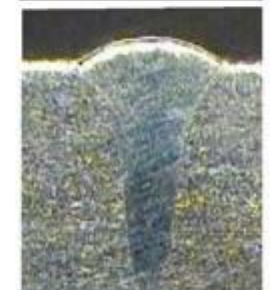
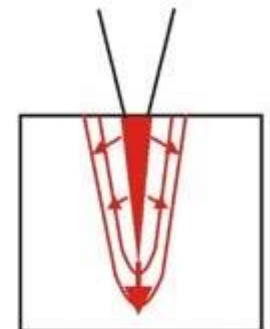
Conduction welding



Transition "keyhole" welding



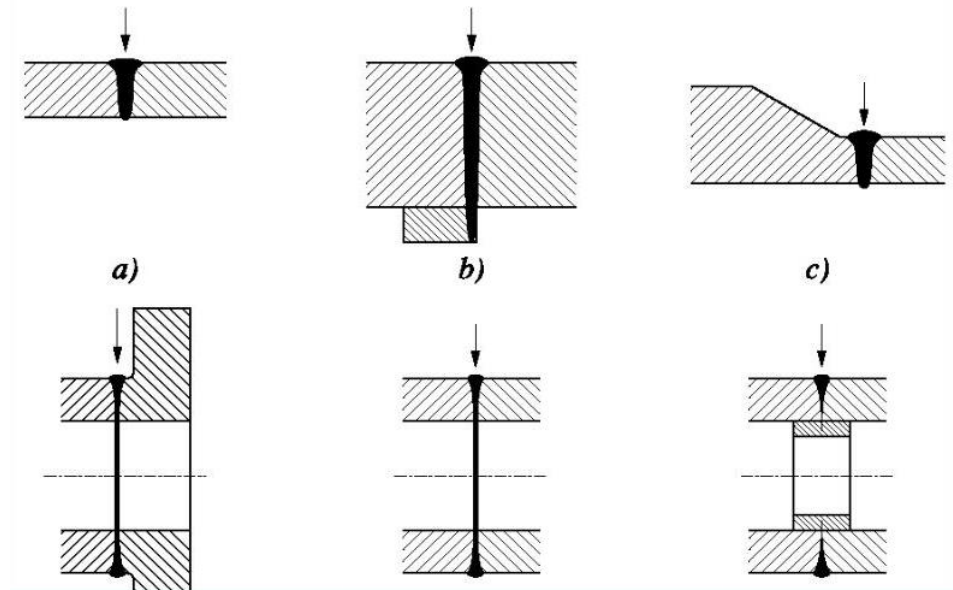
Penetration / "keyhole" welding



Eljárás jellemzői

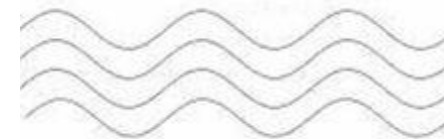
- Előnyei:
 - Nagy energiasűrűség (10^8 W/cm^2)
 - Keskeny, mély beolvadású varrat
 - Kis deformáció
 - Jó sugárhatásfok ($\eta=0.9-0.96$)
 - Belső varratok is készíthetők
 - Nagy tisztaság, átolvasztás vákuumban
 - Automatizált
- Hátrányai:
 - Drága berendezés
 - Méret korlátok
 - Röntgen sugárzás ($\approx 5\%$)
 - Ferromágneses anyagokat demagnetizálni
 - Képzett szakember

- Metallurgia:
 - Edzett acélok hegesztés után is edzett marad
 - Nincs szemcsenövekedés
 - Kiválási folyamatokat a gyors hűlés akadályozza
 - Nincs gázpórus képződés



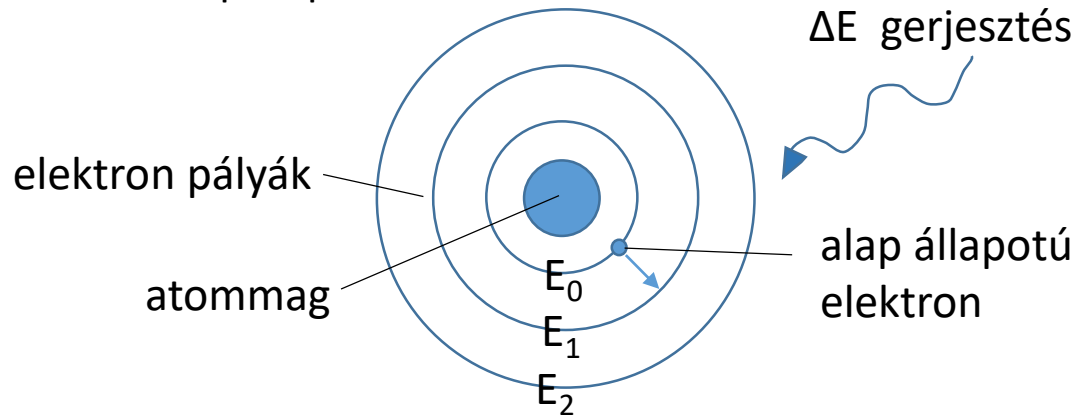
Lézersugaras hegesztés

- Lézer jelentése:
 - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
 - Kényszerített emisszióval erősített fénysugárzás
- Lézer története:
 - 1917 Albert Einstein -indukált emisszió megsejtése
 - 1951 MASER – mikrohullámú tartományban
 - 1960 Első rubin szilárdtest lézer
 - 1963 első CO₂ lézer
 - 1964 Nd-YAG, Ar ion lézer
 - 1969 Első lézerek az autógyártásban
- Lézernyaláb tulajdonságai
 - Monokromatikus (rövid ideig 0.01 Hz, tartósan 50-100 Hz sávszélesség)
 - Hullámhossz $\lambda=0.1-1000 \mu\text{m}$
 - Irányított, kis divergencia (mrad nagyságrendű)
 - Hatalmas fényintenzitás (folytonos MW-GW, impulzus TW)
 - Nagyfokú koherencia –időbeli és térbeli rendezettség
 - Ultrarövid lézerimpulzusok (fs)



Lézerműködés elve

- Atomok gerjesztése
 - Alapállapot



- Gerjesztett állapot

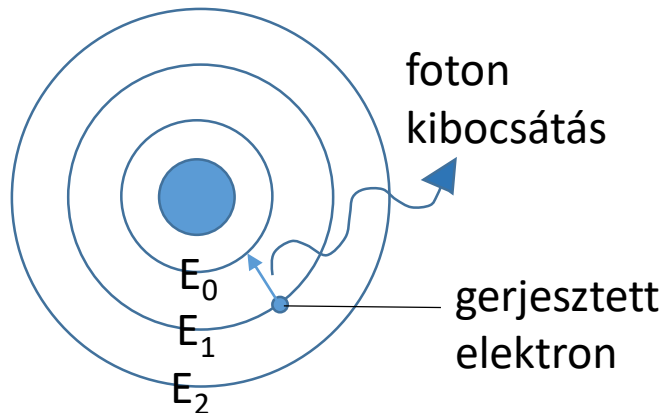
$$\Delta E = h\nu$$

h – Planck állandó

ν - frekvencia

λ - hullámhossz

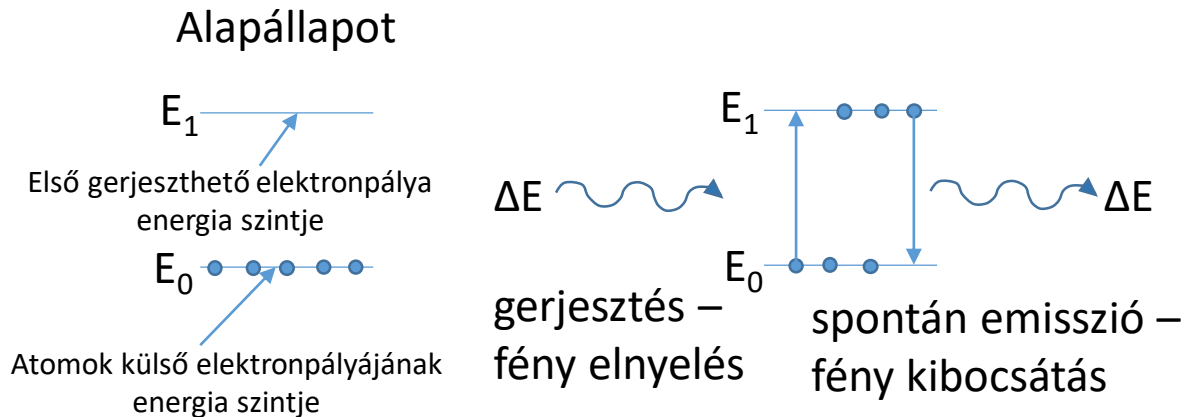
$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$



- Alap állapotban az elektronok a legkisebb energiaszintű pályákon helyezkednek el (E_0).
- Külső energia hatására (ΔE - gerjesztés) magasabb energia szintű pályára lépnek (E_1), miközben a gerjesztő energiát elnyelik.
- Az atom gerjesztett állapotban nem stabil, igyekszik visszatérni alapállapotba. Az elektron visszalép E_1 energiaszintű pályáról az E_0 energiaszintű pályára, közben a $\Delta E = E_1 - E_0$ energiát foton formájában kisugározza.
- Foton = fényrészecske. Energiája arányos a frekvenciával.
- Ez a folyamat magától végbemegy, amit úgy hívnak, hogy **spontán emisszió**.

Lézerműködés elve

- Spontán emisszió



- Spontán emissziókor a fény (foton) kibocsátás véletlenszerűen valósul meg.
 - A tér minden irányában
 - Időben is

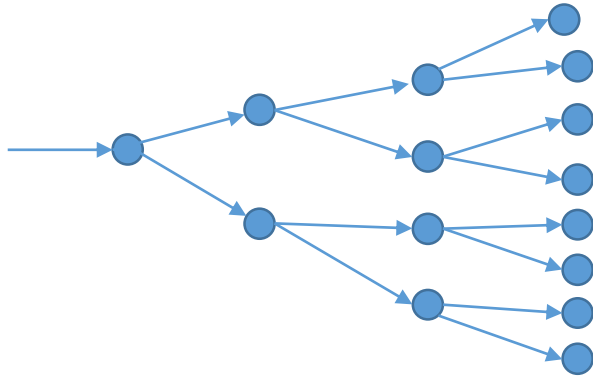
- Indukált (kényszerített) emisszió:

- Létezését Einstein sejtette meg.
- A természet szimmetrikusan működik
- Ha gerjesztett atomot olyan foton talál el, amelyet önmaga is kibocsát, akkor az átmenet azonnal végbemegy.
- A keletkezett foton koherens módon mozog az őt kiváltó fotonnal.



Lézerműködés elve

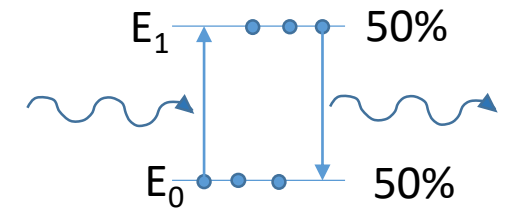
- Ha kellő számú atomot gerjesztett állapotba tudunk hozni, akkor az indukált emisszió során megjelenő fotonok láncreakció szerűen sokasodnak.



- Az erősítés feltétele, hogy a lézeraktív atomok több mint 50%-a gerjesztett állapotban legyen (populáció inverzió).
- Két energia szint között nem lehet előállítani a populáció inverzió állapotát.

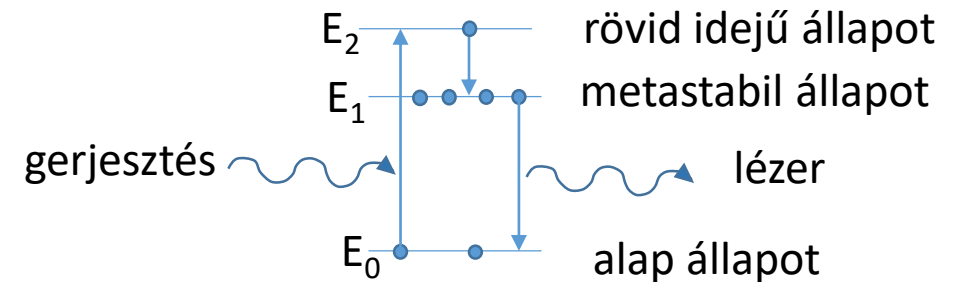
- Ha két energia szint között történik a gerjesztés, akkor 50% a legnagyobb mennyisége a gerjesztett atomoknak \rightarrow önindukált átlátszóság

- Ilyenkor a rendszerből annyi fény jön ki, mint amennyi bement, mert ugyan annyi az esélye a gerjesztésnek, mint az indukált emisszióknak.
- Lézer működéshez több energia szint kell!



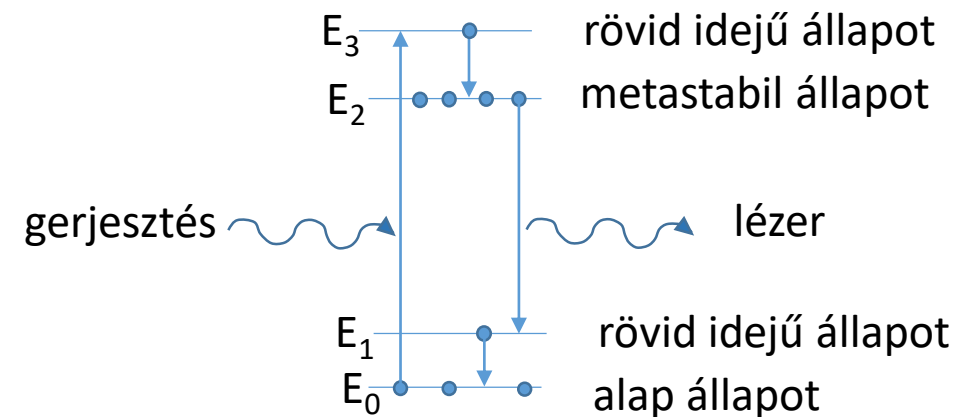
Lézerműködés elve

- Három szintes lézer működése:
 - Alap állapotról E_2 szintre történik a gerjesztés.
 - E_2 szinten nagyon rövid ideig tartózkodnak az elektronok (10^{-8} ns)
 - Az $E_2 \rightarrow E_1$ átmenet sugárzás nélküli
 - E_1 szint metastabil, itt 10^{-3} ns-ig tartózkodik az elektron.
 - Az $E_1 \rightarrow E_0$ átmenetkor sugárzódik ki foton (lézer)
 - A populáció inverzió állapotát erős pumpálással lehet elérni.
 - A háromszintes lézerek többnyire impulzus üzemben működnek.
 - Az elméleti hatásfok: $\eta_e = \frac{E_1 - E_0}{E_2 - E_0}$

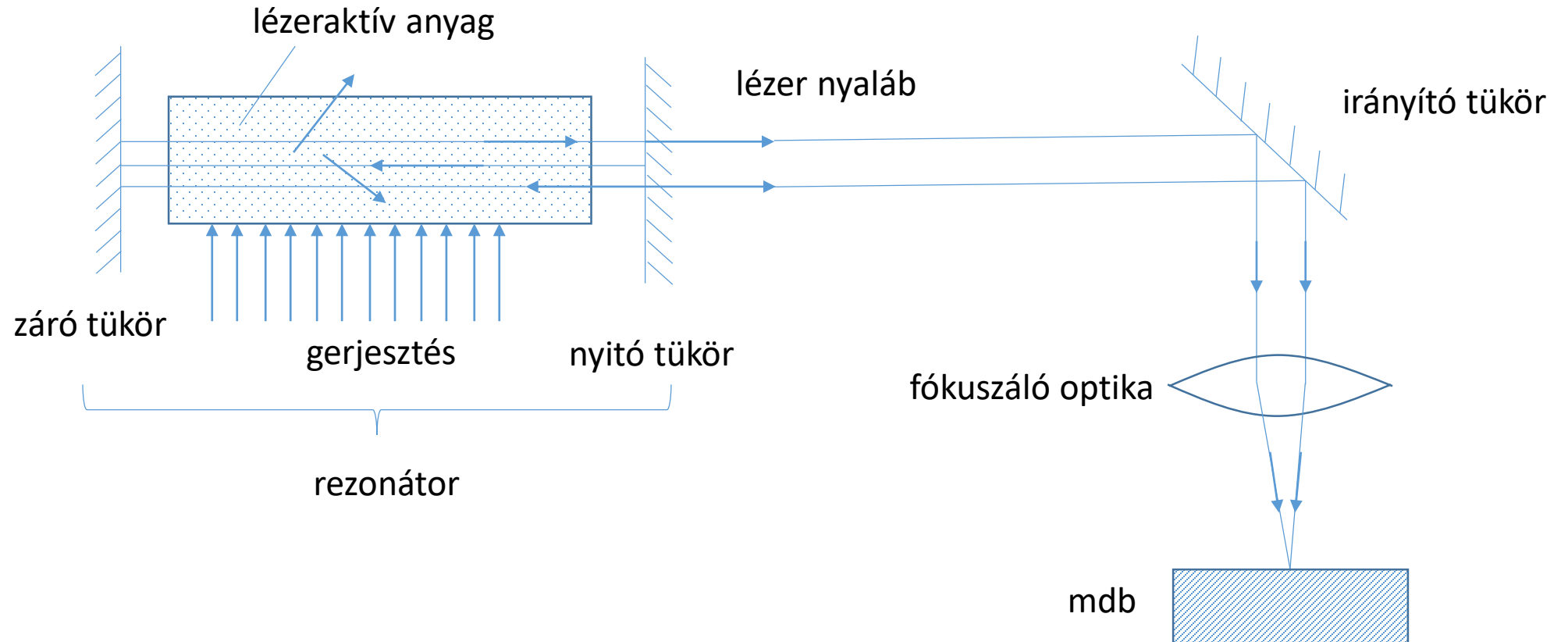


Lézerműködés elve

- Négy szintes lézer működése:
 - Folytonos működésre is képes.
 - Nem igényel erős pumpálást.
 - Az populáció inverzió állapota az 1-2 szintek között könnyen fenntartható.
 - Az elméleti hatásfok: $\eta_e = \frac{E_2 - E_1}{E_3 - E_0}$



Lézer sugárforrás elvi ábrája



Lézerek csoportosítása

- Működés alapján:
 - Impulzus lézerek
 - Folytonos üzemű lézerek
- Lézeraktív anyag alapján:
 - Gázlézerek
 - He-Ne, CO₂, CO, Ar, N₂, Excimer lézer
 - Szilárdtest lézerek
 - Rubin (Al₂O₃+Cr³⁺)
 - Nd-YAG
 - Szállézer (fiber)
 - Tárcsa lézer (disc)
 - Festék lézerek- hangolható
 - Félvezető lézerek

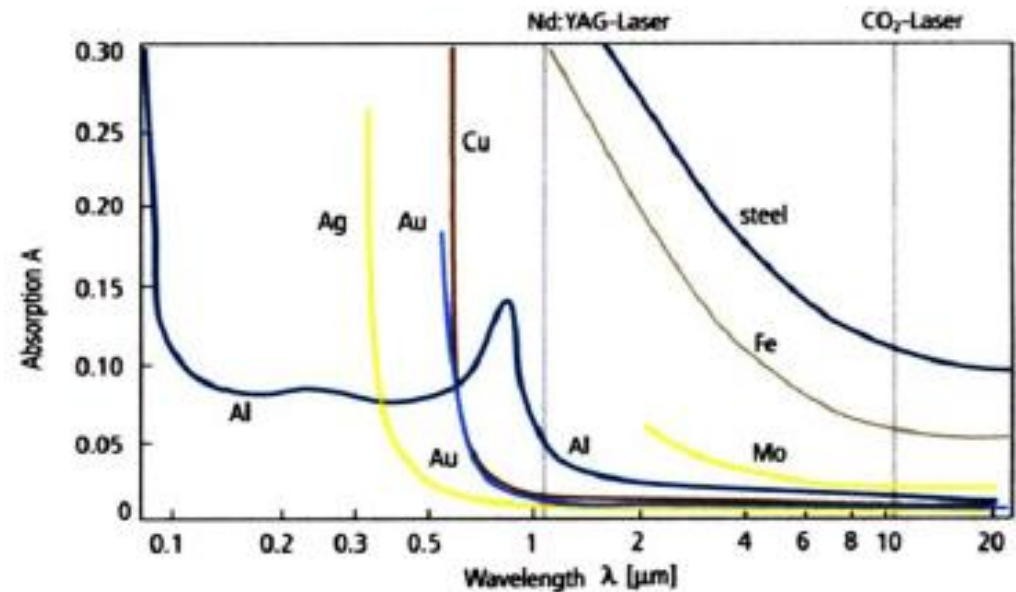
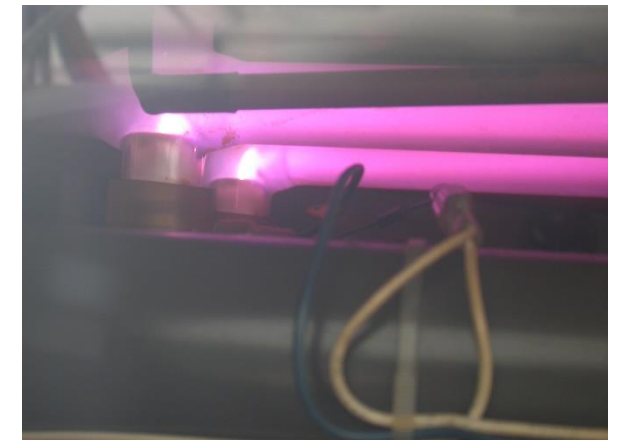
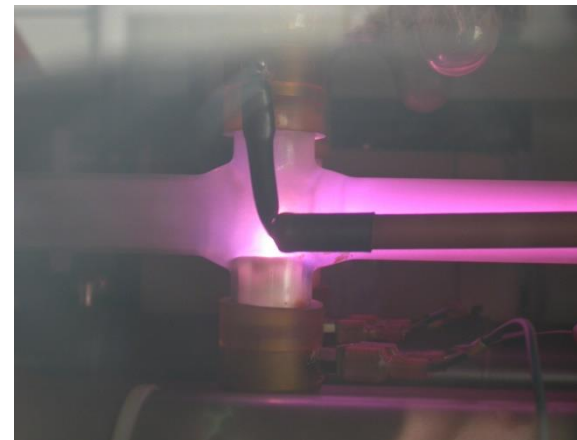
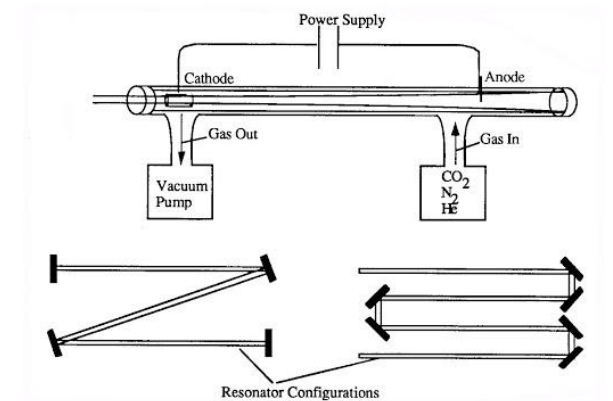
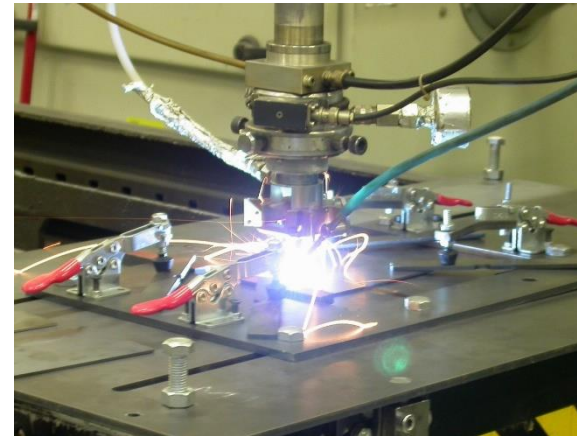


Fig. 5. Absorption of a number of metals as a function of laser radiation wavelength [7].

Fontosabb ipari lézerek

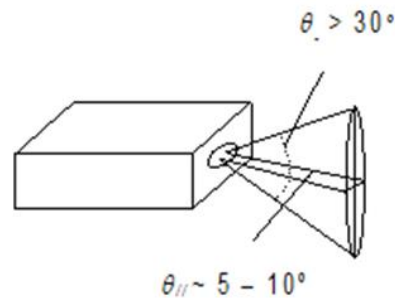
- CO₂ lézer
 - Gáz lézereket ívkisüléssel gerjesztik
 - A rezonátorban 3 féle gáz található
 - CO₂ lézeraktív
 - N₂ ív energiáját közvetíti a CO₂ felé
 - He a CO₂ molekulák regenerálását segíti
 - Igen jó a nyaláb minősége (Gauss)
 - Távoli infravörös tartományban világít ($\lambda=10.6 \mu\text{m}$).
 - Sokáig egyeduralkodó volt az iparban a kiemelkedő hatásfoka miatt (20%)
 - Nem fémes anyagokban jól elnyelődik
 - Fémeknek rossz az elnyelődése (adszorpció) ezen a hullámhosszon.
 - Hegesztéskor a védőgáznak nagyon nagy szerepe van.
 - Alkalmazása: vágás, hegesztés, lézer szike



Fontosabb ipari lézerek

- Félvezető lézerek:

- LED-ek speciális fajtája
- Gerjesztés elektromos árammal történik
- Dióda véglapjai képezik a rezonátort
- A nyaláb nem kör alakú

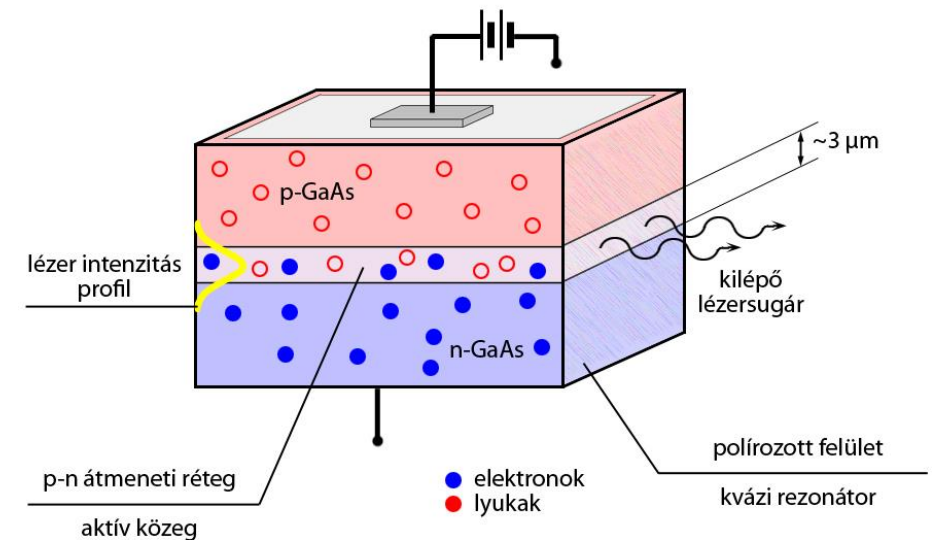


- Divergenciája irányfüggő és relatíve nagy
- Hullámhossza hőmérséklet függő
 - GaAs infravörös
 - Ga, Al, In, Si, N, P, As, Sb keverékei UV-től a távoli infravörösig
- Teljesítmény
 - Egy db mW-W nagyságrendű
 - Dióda sorok 10-100 W
 - Tömbök kW



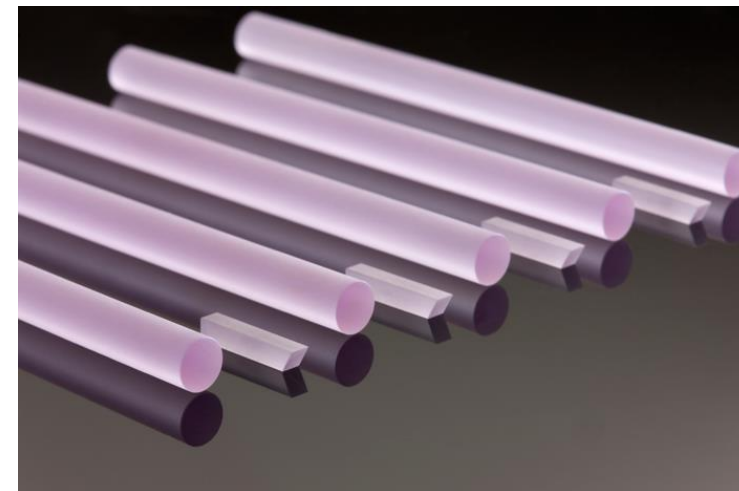
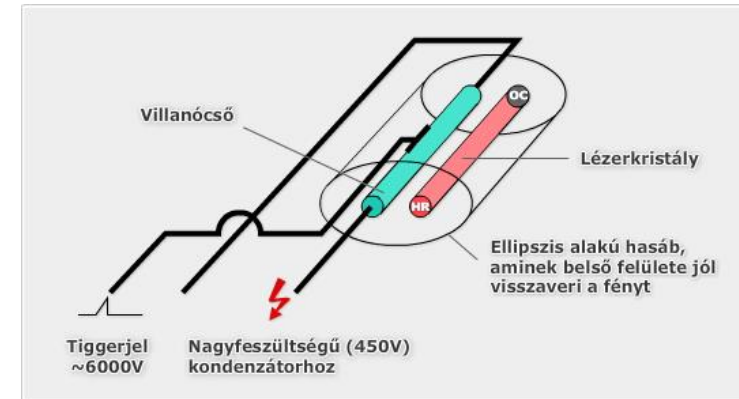
- Alkalmazási területei:

- Szilárdtest lézerek gerjesztése
- Hegesztés, forrasztás, hőkezelés
- Optikai adatátvitel, adattárolás
- Nyomtatás
- Orvosi alkalmazás



Fontosabb ipari lézerek

- Szilárdtest lézerek:
 - Hordozó anyag (üveg, YAG, YLF)
 - lézeraktív anyag (Nd, Er, Tm, Yb)
 - Optikailag (fényel) gerjeszthető
 - Hordozó anyag nem hátráltathatja a lézer működést
 - Nd:YAG ($\lambda=1064$ nm)
 - Villanó lámpa gerjeztés
 - Dióda lézer gerjesztés
 - Optikai szálban vezethető
 - Fémek jobban elnyelik



Szállézerek

- Jó hatásfok
- Jó nyalábminőség
- Nagy megbízhatóság
- Alacsony üzemeltetési költség
- Lézeraktív anyagok:
 - Er $\lambda=1.54-1.56 \mu\text{m}$
 - Yb $\lambda=1.07-1.08 \mu\text{m}$
 - Th $\lambda=1.8-2.0 \mu\text{m}$
- Gerjesztés dióda lézerrel történik
- Rezonátor az optikai szálban elhelyezett Bragg-rács
- Szából kinyerhető lézer teljesítmény 100 W körüli

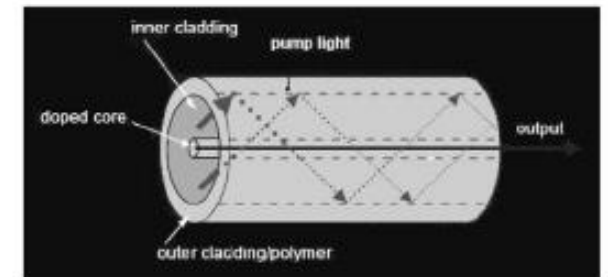
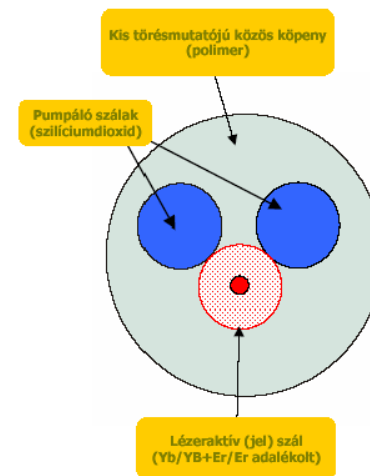
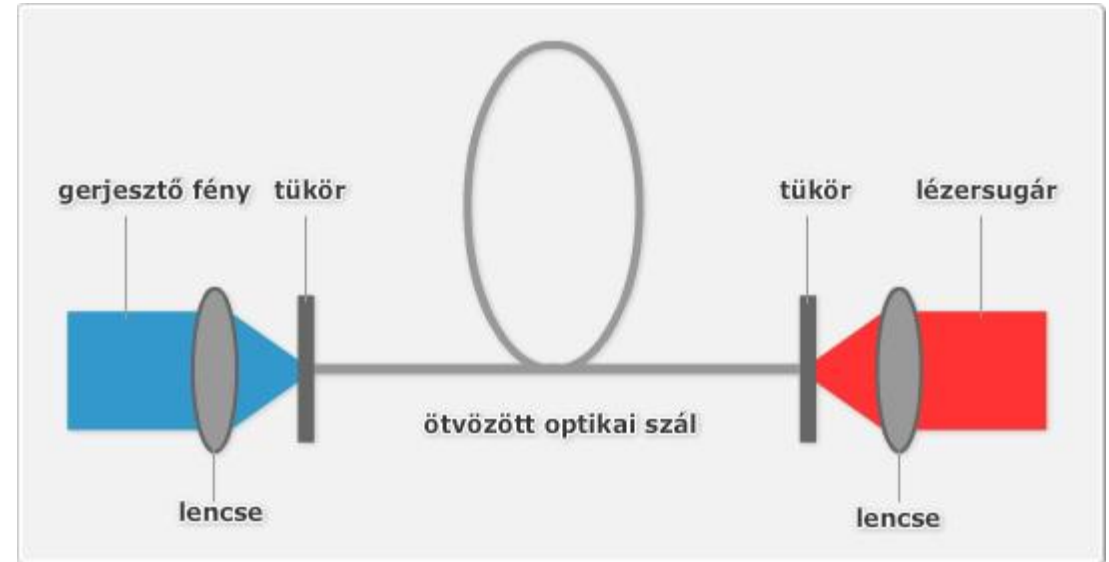
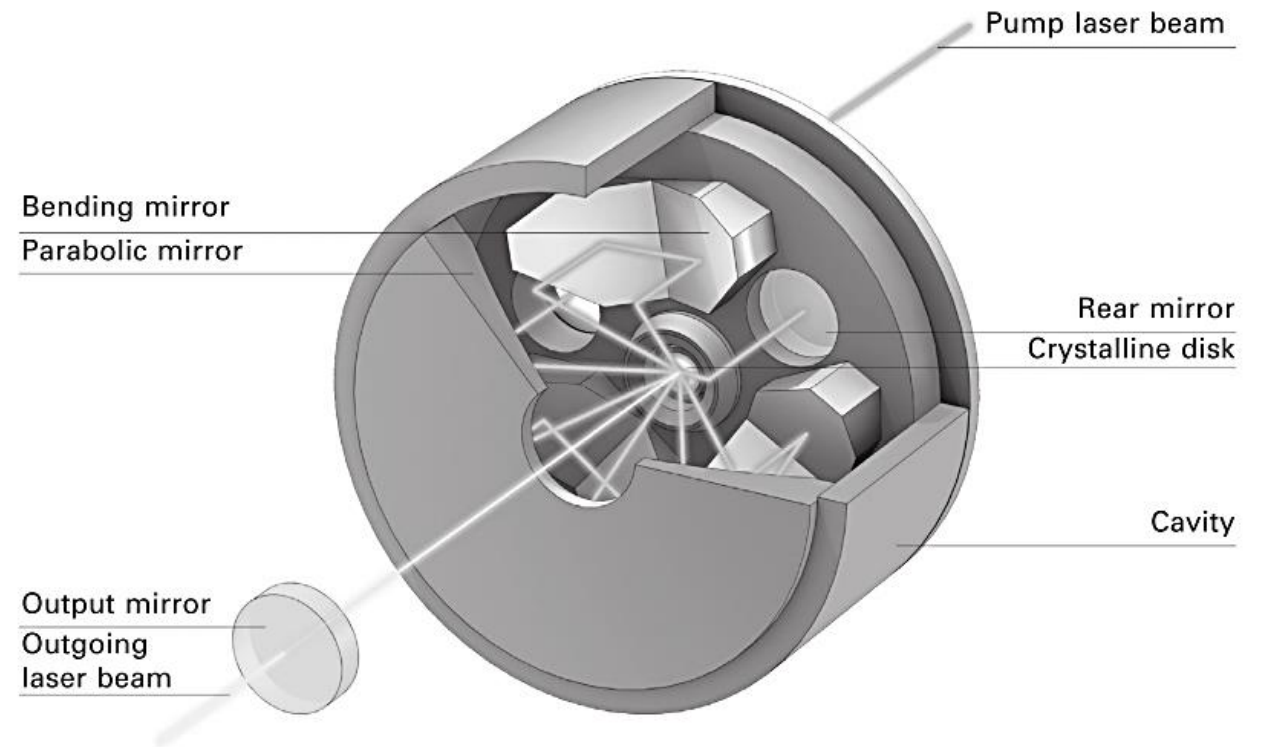
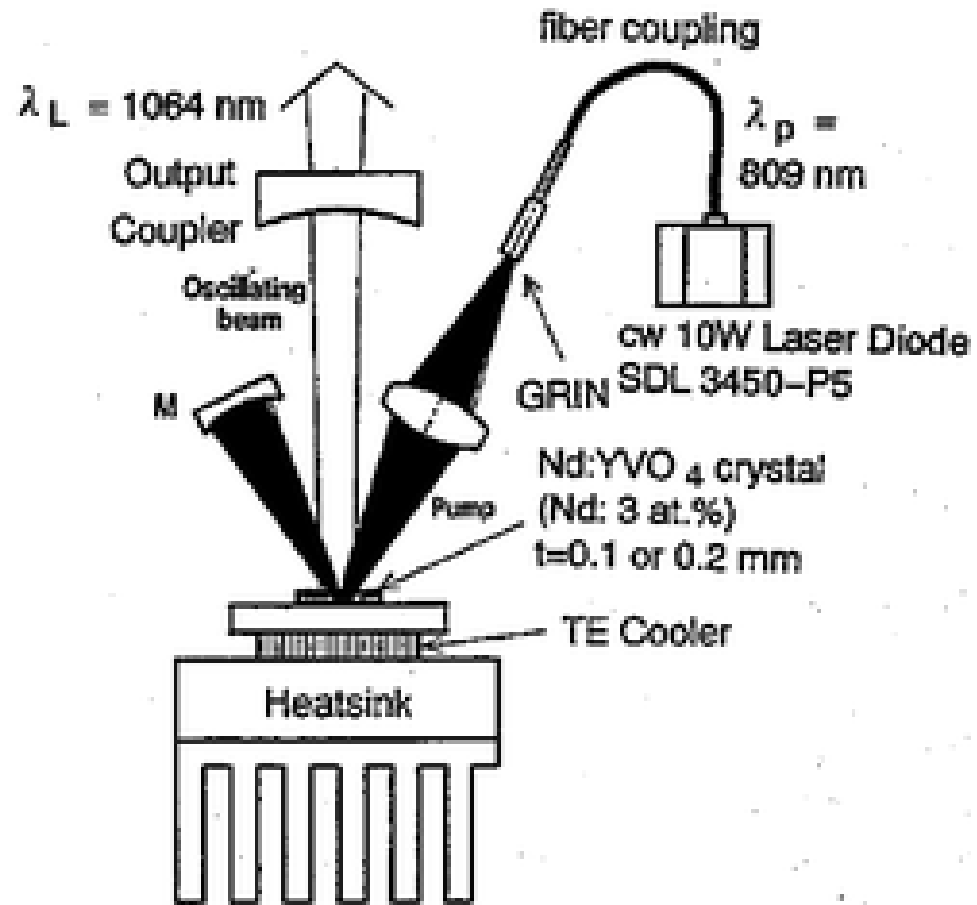


Fig. 1. Double-clad fiber laser [3]

Tárcsa lézer



Hegesztési paraméterek

- Lézer típustól erősen függ
 - Anyag adszorpciós tényezője
 - Alapanyagtól
 - Hullámhossztól
 - Felületi minőségtől
 - Teljesítmény sűrűség
 - Lézer teljesítménye
 - Nyaláb átmérő (fókuszálás)
 - Hegesztési sebesség
 - Védőgáz mennyisége, minősége

