

Elektronikai technológia és anyagismeret

1.ZH mintakérdések kidolgozása

Alkatrészek

1-01 A FURAT- ÉS FELÜLETSZERELHETŐ ALKATRÉSZEK MEGJELENÉSI FORMÁI ÉS TÍPUSAI

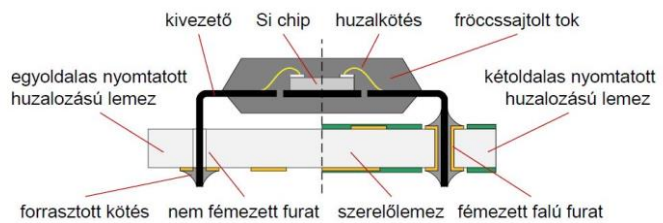
Mutassa be a furatszerelt alkatrészeket rajzokkal és leírással!

Furatszerelt alkatrészek definíciója (1 pont)

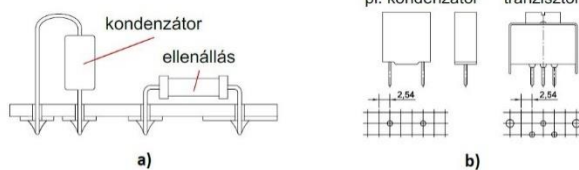
A furatszerelt alkatrészeket az **áramköri hordozó fémezett falú furataiba rögzítik.**

A furatszerelt alkatrészek (angolul **Through Hole mounted Devices**, azaz **THD** alkatrészek) **hajlékony vagy merev kivezetésekkel** (alkatrészlábakkal) rendelkeznek. A **hajlékony kivezetéseket**

a furatok helyzetének megfelelően **méretre vágják és hajlítják.** A kivezetéseket a szerelőlemez furataiba illesztik és többnyire a **szerelőlemez másik oldalról forrasztják be.** Csak furatszerelt alkatrészeket tartalmazó áramkörök esetén megkülönböztetünk **alkatrész és forrasztási oldalt.**



furatszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések mechanikai tulajdonságai szerint (1 pont)



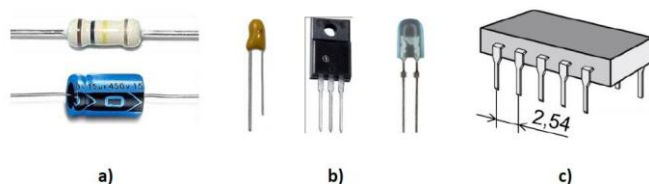
1.2. ábra. Furatszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetés mechanikai tulajdonságai szerinti a) hajlékony kivezetésekkel rendelkező alkatrészek; b) fix, merev kivezetésekkel rendelkező alkatrészek

A furatszerelt alkatrészeket többféleképpen osztályozhatjuk. A kivezetések mechanikai tulajdonsága alapján például kétféle csoportot lehet alkotni. A **hajlékony kivezetéseket a furatokhoz lehet hajlítani.** A **merev (másnéven „fix”) kivezetésű** alkatrészekhez egy

standard rács mentén elrendezett kivezetésekhez kell tervezni a **furatokat.**

furatszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése szerint (2 pont)

A furatszerelt alkatrészeket csoportosíthatjuk a kivezetések geometriái, elrendezése alapján is. Az **axiális kivezetésű** alkatrészek (például ellenállás vagy kondenzátor) esetében a kivezetések többnyire egy **hengeres alakú tok tengelye mentén** helyezkednek el. A **radiális kivezetésű** alkatrészek (jellemzően kondenzátorok, tranzisztorok, LED-ek) esetében a kivezetéseket **a tok alján** helyezik el. A **kerület mentén** elhelyezett kivezetések alkalmazása a sokkivezetéses integrált áramkörök esetében jellemző. Ezek kivezetéseit szintén raszteren szokás pozicionálni.

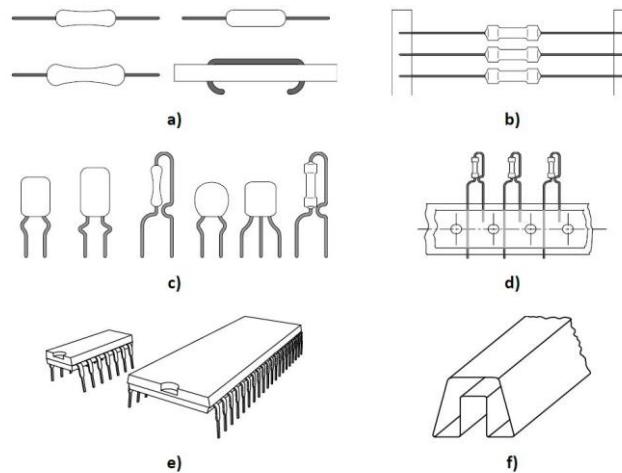


1.3. ábra. Furatszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése alapján: a) axiális kivezetésű; b) radiális kivezetésű; c) kerületi menti kivezetéssel rendelkező alkatrész

furatszerelt alkatrészek csomagolási módjai (1 pont)

A furatszerelt alkatrészek csomagolását az alkatrészek kialakítása szerint csoportosítjuk. A következő táblázatban mutatjuk a típusokat: az axiális, radiális és integrált áramköri alkatrészek sorrendnek megfelelő **két- és egyoldalas hevederezése** mellett **műanyag csőtáras** megoldást is alkalmazhatnak. A

hevedereken található perforációk a szalag automatizált továbbítása céljából vannak kialakítva – a beültető automata léptető fogaskerekei ezekbe a nyílásokba tudnak illeszkedni. A **csőtár anyaga legtöbbször műanyag**, amelyből rezgetéssel vagy sűrített levegős befúvással lehet kivenni az alkatrészeket.

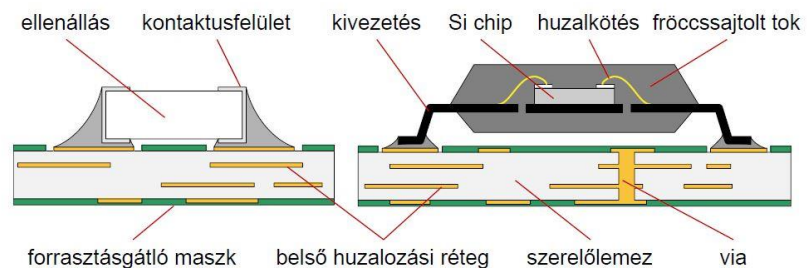


1.10. ábra. Furatszerelt alkatrészek kivezetések szerinti csomagolása: a) axiális kivezetésű alkatrészek; b) kétoldalas hevederezés; c) radiális kivezetésű alkatrészek; d) egyoldalas hevederezés; e) integrált áramkörök; f) műanyag csőtár

Mutassa be a felületszerelt alkatrészeket rajzokkal és leírással!

Felületszerelt alkatrészek definíciója (1 pont)

A felületszerelt alkatrészek (angolul **Surface Mounted Devices**, azaz **SMD** alkatrészek) **rövid, furatszerelésre alkalmatlan kivezetéssel**, esetleg az alkatrész oldalán vagy alján található kivezetési célú **forrasztási felületekkel (kontaktusfelületek)** rendelkeznek. Az alkatrészeket a kötött elrendezésű kivezetéseknek megfelelően, **előre kialakított áramköri vezetékminizátra** ültetik rá és forrasztják be – mindezt a szerelőlemez felületének síkjában. Az áramköri lemezen kialakított **felületi kontaktusokat pad**-eknek hívják, az alkatrész teljes, áramköri hordozón megjelenő padmintázatát **footprint**-nek nevezik. A felületszerelt alkatrészek a **szerelőlemez egy oldalát foglalják csak el**, szemben a furatszerelt alkatrészekkel.



1.11. ábra. Tipikus felületszerelt alkatrészek

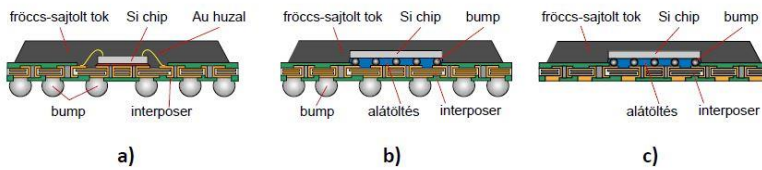
felületszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése szerint (1p)

Az alkatrész **oldalán található kivezetések** az ellenállásokra, kondenzátorokra a legjellemzőbbek. **Kerület menti kivezetések**: SOIC, QFP, PLCC, QFN. Tok **alján lévő rácselrendezésű metszéspontban elhelyezkedő kivezetések**: BGA, FC-BGA, LGA.

Alkatrész típusa	Tulajdonságok	Alkatrészek megjelenése
SOIC (Small Outline IC)	4-6 kivezetés, raszterosztás: ~1,27 mm	
QFP (Quad Flat Package)	4-256 kivezetés, raszterosztás: ≥0.3 mm	
PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier)	8-40 kivezetés raszterosztás: ~1,27 mm	
QFN (Quad Flat No Lead)	16-32 kivezetés, raszterosztás: ~0,4 mm	

BGA, FC-BGA és LGA tokozású alkatrészek konstrukciója (2 pont)

A **BGA (Ball Grid Array)** típusú alkatrészek esetében a **tok alján rácsszerű elrendezésben forraszgolyókat** (ball, bump) helyeznek el. A BGA típusú alkatrészek igen komplex logikákat vagy memóriákat is tartalmazhatnak. Ezekben a tokokban a **szilícium lapkát (azaz a chipet) ragasztással, vagy forrasztással rögzítik egy interposer** elnevezésű

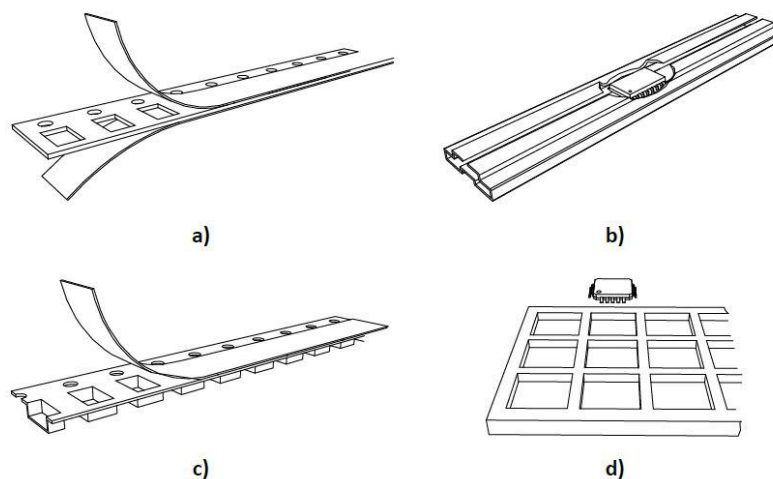


1.14. ábra. Rácselrendezésű kivezetőkkel rendelkező felületszerelt alkatrészek:
a) BGA; b) FC-BGA; c) LGA tokozású alkatrészek

újraelosztó hordozóra. Az interposer célja, hogy a félvezető chipen kerület mentén elhelyezkedő, kisméretű kontaktusfelületeket szétossza a tok teljes alsó felületére; ezáltal ott nagyobb méretű kivezetések alkalmazására lesz lehetőség. Az elsőnek megjelölt BGA tokozású alkatrészekben az **első szintű összeköttetést (chip ↔ chiptartó hordozó [itt: interposer]) mikrovezetékekkel** alkalmazásával valósították meg. A **második szintű összeköttetésért (chiptartó ↔ szerelőlemez)** az interposer alján található **forrasz bumpok** felelnek. Az **FC-BGA (Flip-Chip BGA)** típusú alkatrészek belsejében a **szilícium lapka aktív felületével a hordozó felé nézve (flip / face-down), bumpokkal** van rögzítve az **interposerre**. Tipikus FC-BGA alkatrész lehet például néhány kereskedelmi forgalomban is kapható nagy számítási teljesítményű logikai áramkör, mikrovezérlő, illetve laptop grafikus egységek tipikus tokozási formája. Az **LGA** típusú alkatrészek szintén **rácsszerű elrendezésben tartalmaznak kivezetőket** a tok alján, de bumpok híján **szimpla kontaktusfelületeket tartalmaznak**. Az LGA tipikusan az asztali számítógépekbe helyezhető modern processzorok, CPU-k tokozási formája. A BGA típusú alkatrészek jellemzően 16-256 kivezetéssel rendelkeznek, raszterosztásuk pedig átlagosan ~1,27 mm. Az FC-BGA típusú alkatrészek akár 1600 kivezetéssel is rendelkezhetnek, raszterosztásuk ~0,8 mm nagyságrendű. Az LGA típusú alkatrészek akár 2.000 kivezetéssel is rendelkezhetnek, raszterosztásuk pedig ~0,8 mm nagyságrendű.

felületszerelt alkatrészek csomagolási módjai (1 pont)

A felületszerelt alkatrészek csomagolásához **papír szalagtárakat, műanyag szalagtárakat, műanyag csőtárakat** és **műanyag tálcátárakat** szoktak alkalmazni. A szalagtár tipikus szélessége 8 mm, ennek maximuma 32 mm lehet. A későbbiekben láthatjuk, hogy az automata beültetőgépek ezeket a filmszerű továbbításhoz előkészített, perforált szélű szalagtárakat mozgatják alkatrész adagoláshoz – egyszerre akár 50-60 szalagot is. A műanyag csőtárak hasonló felépítéssel bírnak, mint a furatszerelt alkatrészek esetében. A csőtárból rezgetéssel vagy sűrített levegős kifúvással továbbítja a beültetőautomata az alkatrészeket egy fészekbe, ahonnan a beültetőfej már képes felvenni azokat. A tálcátárban nagy kivezetésszámú, négyzetes alkatrészeket szoktak elhelyezni (pl. QFP, QFN, BGA).

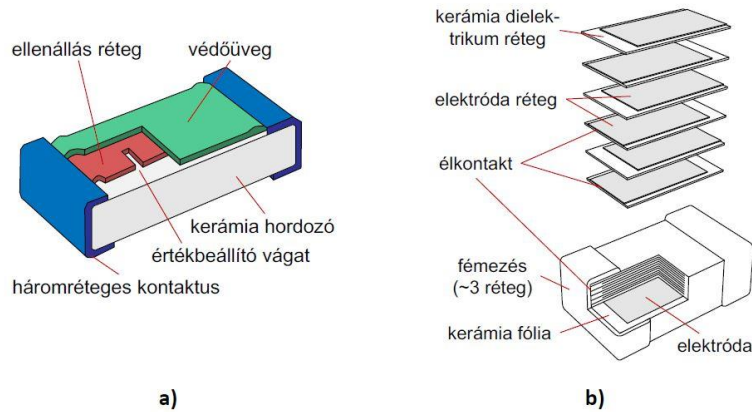


1.17. ábra. Felületszerelt alkatrészek kivezetések szerinti csomagolása: a) papír szalagtár (pl. SMD ellenállások); b) Műanyag csőtár (pl. SOIC); c) műanyag szalagtár (pl. SMD kondenzátorok); d) műanyag tálcátár (pl. BGA, QFN, QFP)

Mutassa be a felületszerelt ellenállás és rétegekondenzátor konstrukcióját rajzokkal és leírással!

Felületszerelt ellenállás konstrukciója (2 pont)

Az alábbi ábra egy tipikus felületszerelt, vastagréteg ellenállást mutat. Az ellenállás lényegi része egy **kerámia testre** kerül fel, ahol egy adott vezetőképességű (**fajlagos ellenállású**) **réteg** adja az alkatrész ellenállását. A réteget különböző módszerekkel (jellemzően lézeres trimmeléssel) **állítják be pontos értékűre**. Az alkatrész oldalán több fémrétegből (Ag, Ni, Sn) felépülő **kontaktus** található.



1.12. ábra. Tipikus felületszerelt alkatrészek: a) vastagréteg ellenállás; b) kerámia rétegekondenzátor

felületszerelt kerámia rétegekondenzátor konstrukciója (2 pont)

Az ábra másik oldalán egy felületszerelt, kerámia rétegekondenzátort mutatunk be, amelynél az alkatrész alakja hasonló az ellenálláséhoz. Az alkatrész belseje viszont **számos rétegből épül fel**, ahol **kerámia dielektrikum** között **elektróda** (fegyverzet) **rétegek** találhatóak, **fésűszerű elrendezésben**. A fegyverzetek relatíve kis felületét azok közeli távolsága és a fegyverzetek számossága kompenzálja.

felületszerelt passzív diszkrét alkatrészek méretkódjának definíciója, és jellemző méretkódok felsorolása angolszász és metrikus me. rendszerben (1 pont)

Az átszámítás alapja a következő: pl. a 1206 méretkódú ellenállás lineáris méretei 120 és 60 mil. A mil, mint angolszász mértékegység az inch ezredrésze, 25,4 μm . Tehát a 120 és a 60 mil $120 \cdot 0,0254 = 3,05$ mm valamint $60 \cdot 0,0254 = 1,52$ mm. Ez az átszámítás 0402-es méretkódig érvényes.

1.1. táblázat. Chipméretű passzív SMD alkatrészek méretkódjai

Méretkód	Méret, mm
1206	3,05 x 1,52
0805	2,03 x 1,27
0603	1,52 x 0,76
0402	1,02 x 0,51
0201	0,6 x 0,3
01005	0,4 x 0,2

Félvezető anyagok jellemzői

2-02_SI_ANYAGOK_TULAJDONSÁGOK

Mi az oka annak, hogy a félvezető anyagok fizikai tulajdonságai általában anizotropak?

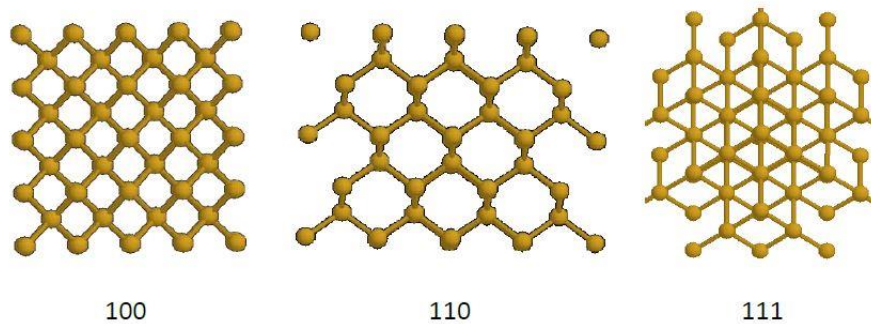
Az anizotrópia fogalmának ismertetése (1 pont)

Az egyes anyagok **fizikai és kémiai sajátságainak változása a tér különböző irányaiban.**

A félvezető egykristályok szerkezetének bemutatása, példa a különböző rácsoakra (2 pont)

Egy ideális Si egykristályban a **gyémántrács** elemi cellája a tér mindhárom irányában végtelen hosszan ismétlődik. Az egykristály fizikai tulajdonságai **anizotropak**. A **gyémántrács** (jellemző egykristályra) szerkezet jellemzően (szilícium és gyémánt) **két lapcentrált köbös rács elcsúsztatva a térátlós negyedével**. A kristály az **atomi bázis** (két egymás melletti szénatom) eltolása minden lehetséges rácsvektorral. Eltérő rácso pl. a **lapcentrált köbös rács** a GaAs esetében (a bázis két különböző atomból áll) vagy a **hatszöges rács** a GaN esetében (a kétféle atom külön-külön hatszöges rácsot alkot). A kristálysíkok azonosítására és orientációjára a h, k, l **Miller-indexeket** alkalmazzuk.

A különböző kristálytani irányokban mutatkozó eltérő atomi sűrűségek bemutatása rajzon (2 pont)



2.2. ábra. A szilícium kristályrácsa 3 különböző irányból nézve ((100), (110), (111)) eltérő atomi sűrűséget mutat.

CMOS (100)

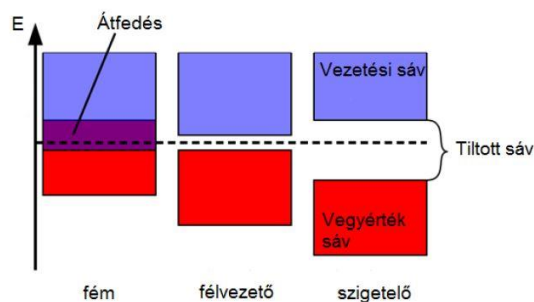
MEMS (110)

bipoláris (111)

Hasonlítsa össze a direkt és indirekt sáv szerkezetű félvezetők energia diagramjait!

A sáv szerkezet diagram értelmezése annak származtatása (2 pont)

A fémek és félvezetők vezetési tulajdonságait az elektron- és kristályszerkezet határozza meg. Fémek, félvezetők és szigetelők elektromos vezetését mutatja az egyszerűsített sáv szerkezet-diagram. Megmutatja, hogy **mekkora energia árán jut át az elektron** a vegyértékből a vezetési sávba.



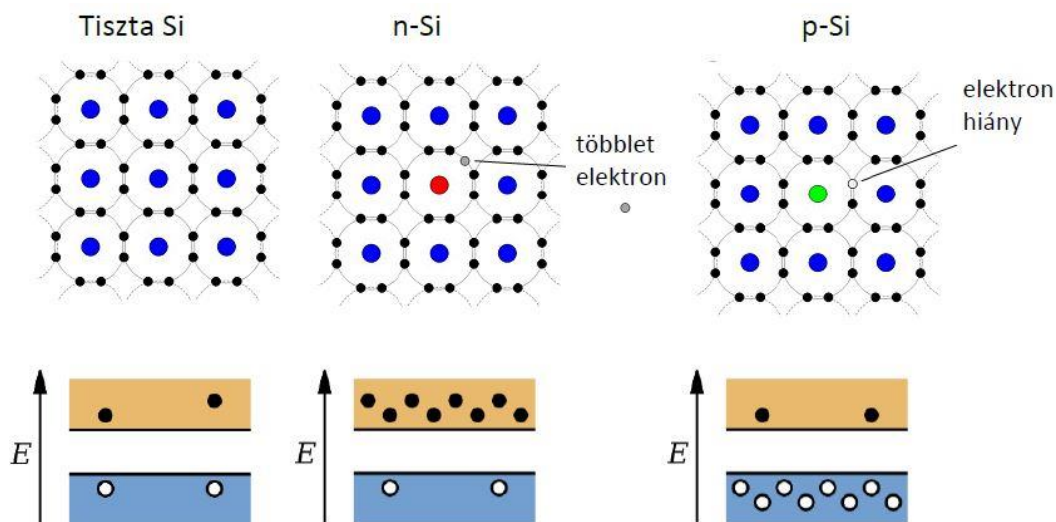
2.1. ábra. A fém, félvezető és a szigetelő anyagok sáv szerkezetének sematikus rajza.

A direkt és indirekt sáv szerkezet bemutatása szövegesen vagy rajzon (2 pont)

Egy direkt tiltott sávot átlépő elektronnal csak a tiltott sávnak megfelelő energiát kell közölni, hogy az átmenet lehetségessé váljon. Ezzel szemben az indirekt tiltott sávú anyagokban a két sáv között nem csupán energiában, de hullámszámban is különbség van, így az átmenethez az elektronnak energiát is kell kapnia és a szükséges hullámszámkülönbséget is le kell küzdenie.

A fénykibocsátással járó rekombináció jelenségének bemutatása és függése a sáv szerkezettől (1 pont)

Ha egy elektron és egy lyuk találkozik a rácsban, rekombináció történhet, ami mindkét töltéshordozó eltűnését eredményezi. A gyakorlatban ez azzal jár, hogy az elektron a vezetési sávból a vegyértéksávba jut (tehát nincsen átfedés a sáv szerkezetben) és betölt egy ott található elektronhiányt. Közben a többlet energiáját leadja. A két töltéshordozó eltűnésekor felszabaduló energia lehet termikus energia (amit a rácson terjedő fotonok kapnak meg, ez a félvezetők termikus veszteségeinek egy forrása), illetve történhet fotonkibocsátással (ez az optikai rekombináció, mely a LED és a lézer működésének is az alapja).

Hogyan lehet a félvezető anyagok fizikai tulajdonságait adalékolással befolyásolni?**A p és n típusú adalékolás lényegének ismertetése kristályrács szintű rajzon (3 pont) és energia diagramon (2 pont)**

2.3. ábra. A szilícium 2D-s sematizált kristályrácsa elemi állapotban valamint n és a p típusú adalékolás esetén.

Technológiai szempontból milyen lényeges tulajdonsággal rendelkezik a szilícium-dioxid?**A Si szelet előállításában SiO₂ fontos szerepének ismertetése a technológiai folyamatokon keresztül (2 pont)**

A szelet előállításának első lépése az Si egykristály növesztése, melynek alapanyaga az SiO₂, azaz a kvarchomok. Ennek jelentősége igencsak nagy, hiszen a tisztasági követelmények miatt speciális beszerzés igényel Auszália partjairól. A polikristályos szilíciumot ebből a kvarchomokból állítják elő.

A fontosabb fizikai tulajdonságok felsorolása, és ezek jelentőségének bemutatása a technológia szempontjából (3 pont)

Elektromosan szigetelő (gate dielektrikum); **alacsony hővezetőképesség**; **olvadáspont: 1830 °C** (> Si); **kémiai és mechanikai stabilitása kiváló**; **savak közül csak a hidrogén-fluorid oldja** (csak ezzel mintázható!), emiatt **maratás maszkanyaga**; **diffúzió és implantáció esetében is maszk**. A szilícium alapú elektronika fejlődését nagyban elősegítette, hogy a natív oxidja; **homogén**; **kémiai szempontból**

ellenálló; jó dielektrikum. A SiO₂ a szilícium hordozó oxidációjával könnyen előállítható és rendkívül stabil dielektrikum. Ezért például **térvezérelt tranzisztorok esetében kiváló gate szigetelő** alakítható ki belőle. A SiO₂ alacsony hővezetőképességű, mechanikailag nagyon stabil, anyag ezáltal a **diffúzióval és az ionimplantációval szemben jó maszkanyagként lehet használni**. A kiváló kémiai ellenállóképessége lehetővé teszi, hogy a különböző **maratási technológiák során maszkként használjuk**. A **savak közül jóformán csak a HF marja**. A Si és a SiO₂ szélsőségesen eltérő fizikai tulajdonságai a félvezető gyártástechnológiában hatékonyan kerülnek kihasználásra, ezért nem véletlen, hogy a félvezető eszközök nagy része Si alapú.

2-03_SZELET_ELŐÁLLÍTÁSA

Mutassa be a polikristályos szilícium előállításának lépéseit.

A polikristályos Si definíciója és a poli-Si jelentőségének ismertetése az egykristály növesztés szempontjából (2 pont)

Polikristályos, tehát **több (egy)kristály szemcséből** épül fel. A polikristályos Si-rúdból készítenek Si egykristály rudat. Ez a poli-Si elektromos árammal iztított szilíciumpálcára válik ki a készítési folyamat végén.

A poli-Si készítésének 3 alapvető lépésének felsorolása és részletezése (3 pont)

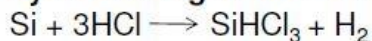
Az Si egykristály-gyártás **alapanyaga a kvarchomok**, melyet nagy tisztaságban Ausztrália partjainál bányásznak. A kvarchomokból **ívkemencében 1500...2000°C közötti hőmérsékleten** szénrel redukálva – állítható elő a **nyers, 2...3% szennyezőt tartalmazó Si**. A reakció során **keletkező szén-monoxidot** gáz halmazállapotában elvezetik. A nyers Si-ot **300 °C-on sósavgázzal reagáltatva desztillációval** könnyen tisztítható, alacsony forráspontú (31,8 °C) **triklór-szilán** és a **hidrogén gáz** képződik. A **többszörös desztilláció** eredményeképpen a triklór-szilánban a szennyező koncentráció $\leq 5 \cdot 10^{13}$ atom / cm⁻³ értékre csökkenthető. A tisztítás következő lépése a **polikristályos Si-rúd** előállítása. A reakcióban képződő szilícium egy csőreaktorban elhelyezett, elektromos árammal iztított **szilíciumpálcára** folyamatosan válik le a gőzfázisból. A tiszta olvadékot ebből a pálcából készítik.

1. Homokból ívkemencében magas hőmérsékleten nyers Si



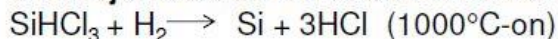
Ez a Si még szennyezett.

2. Nyers Si reagáltatása sósavval



A triklór-szilán gáz, könnyen desztillálható.

3. CVD eljárással Si leválasztása triklór-szilánból



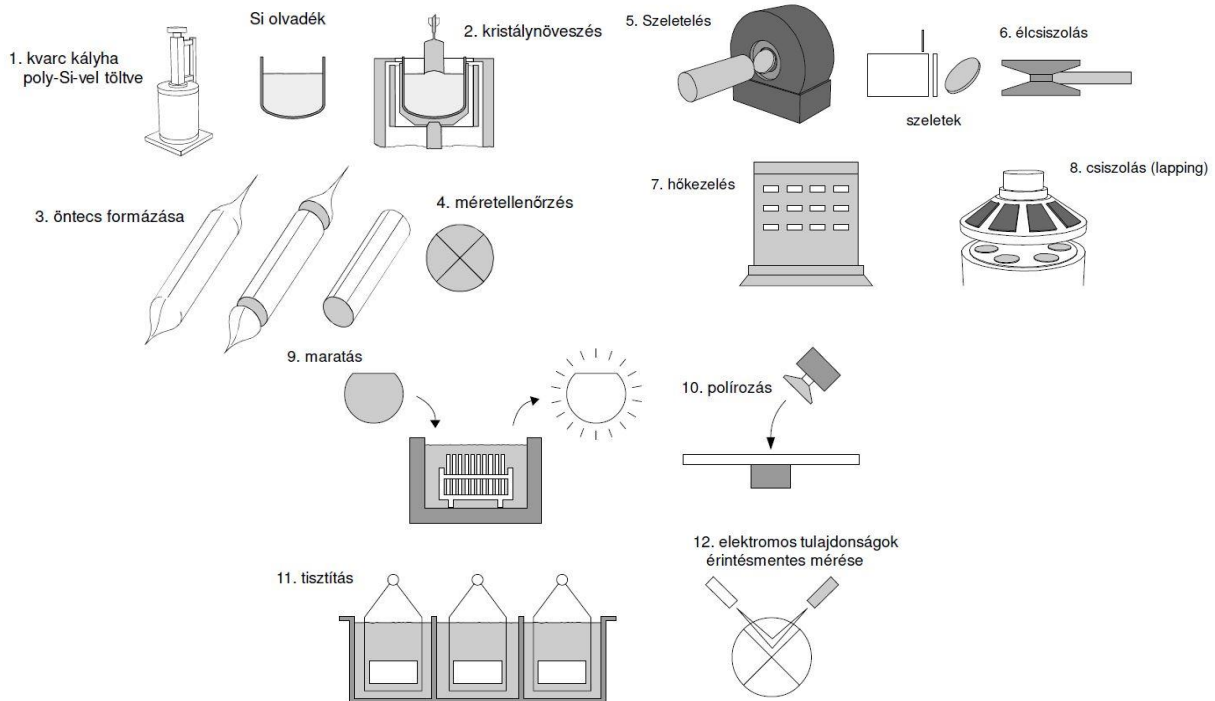
Az utolsó lépésben keletkezett Si gőzfázisból válik ki egy pálcára (szintén Si).

A tiszta olvadékot ebből a pálcából készítik.

Ismertesse a félvezető egykristály feldolgozásának főbb lépéseit.

Az öntecs formázása és a szeletek előállításának lépési (2 pont)

Az **öntecs húzása** során **orientált kristálymag** felhasználásával olvadékból megszilárdul a poly-Si. Az öntecshúzás után a rudak végét levágják, és pontos méretellenőrzést hajtanak végre. Az előformázást követően a Si-egykristály rúdból – a **típusra és orientációra jellemző síkfelület (flat)** beköszörülése után – **belső vágóélű** szerszámmal kb. **1 mm vastag szeleteket** vágnak.



A szeleteket mechanikai megmunkálására használt technológiák ismertetése (1 pont)

A vágási károsodást **kémiai maratással** távolítják el, majd **többfokozatú csiszolással**, végül **kémiai-mechanikai polírozással** jutnak el a **0,3...0,6 mm vastag**, plán-parallel, síkfelületű, felületén károsodott rétegtől mentes **Si-egykristály szelethez (wafer)**.

A félvezető egykristályok szerkezetének bemutatása, példa a különböző rácsokra (1 pont)

Egy ideális Si egykristályban a **gyémántrács** elemi cellája a tér mindhárom irányában végtelen hosszan ismétlődik. Az egykristály fizikai tulajdonságai **anizotropak**. A **gyémántrács** (jellemző egykristályra) szerkezet jellemzően (szilícium és gyémánt) **két lapcentrált köbös rács elcsúsztatva a térátli negyedével**. A rács lapcentrált köbös. A kristály az **atomi bázis** (két egymás melletti szénatom) eltolása minden lehetséges rácsvektorral. Eltérő rácsok pl. a **lapcentrált köbös rács** a GaAs esetében (a bázis két különböző atomból áll) vagy a **hatszöges rács** a GaN esetében (a kétféle atom külön-külön hatszöges rácsot alkot). A kristálysíkok azonosítására és orientációjára a **h, k, l Miller-indexeket** alkalmazzuk.

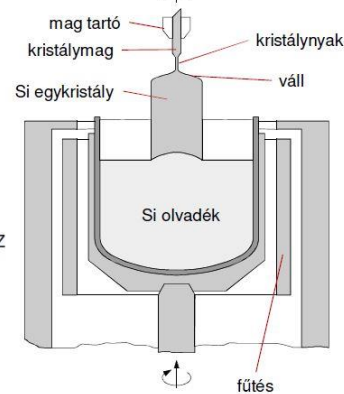
A flat szerepének és kialakításának ismertetése (1 pont)

A flat egy **síkfelület**, amely jellemzi a **típust** és az **orientációt**. Kialakítása **beköszörüléssel** történik.

Magyarázó ábra segítségével ismertesse a Si kristálynövesztésre alkalmazott Czochralski eljárást!

Ábra készítése, amin a sematikus berendezés részegységeit megnevezi (2 pont) és a folyamat szöveges leírása (2 pont)

- A Si olvadékból orientált kristálymaggal húzzuk a kristályt, forgatás közben.
- Lényeges paraméterek: hőmérséklet (olvadáspont: 1414 °C), forgatás sebessége
- Adalékolás megoldható gáz vagy folyadék fázisból.
- Szennyeződés mértéke alapján osztályozhatók.



A legfontosabb folyamatparaméterek kihangsúlyozása (1 pont)

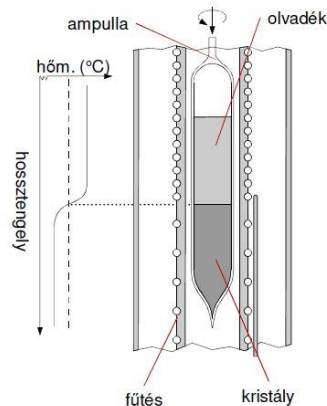
A fém szilícium olvadáspontja 1414-15 Celsius fok. A hőmérsékletprofil az egykristály húzás sebességével (ált. $\leq 1\text{mm/min}$), a beoltókristály, ill. kristályrúd és a téglyes CZ-eljárásnál a tégly forgatásával (~ 20 fordulat /min) szabályozható.

Magyarázó ábra segítségével ismertesse az egykristály növesztésére alkalmazott Bridgman-Stockbarger eljárást!

Ábra készítése, amin a sematikus berendezés részegységeit megnevezi (2 pont) és a folyamat szöveges leírása (2 pont)

A Bridgman-Stockbarger eljárás során a félvezető anyagot egy **zárt ampullába** helyezik és egy meredek hőmérsékletgradienssel rendelkező **kemence belsejében lassú forgatás** közepette áthúzzák.

- Lezárt ampullát húzunk végig egy csökkenő hőmérsékletű zónán.
- Si esetében kevésbé használatos.



A legfontosabb folyamatparaméterek kihangsúlyozása (1 pont)

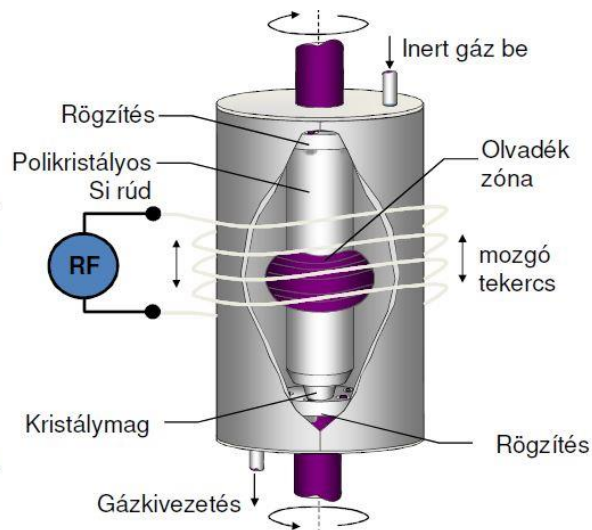
Az **ömladék-egykristály fázishatár** az ampulla húzási sebességével halad, miközben az egykristály növekszik. A hőmérsékletgradiens meredek – a zóna hőmérséklete csökkenő.

Magyarázó ábra segítségével ismertesse az egykristály növesztésére alkalmazott mozgózónás eljárást!

Ábra készítése, amin a sematikus berendezés részegységeit megnevezi (2 pont) és a folyamat szöveges leírása (2 pont)

A zónás eljárás során a poly-Si rudat egy **lassan mozgó nagyfrekvenciás gerjesztésű tekercssel induktív módon olvadásig hevítik**. A tekercs rúd mentén történő mozgatásával az olvadt zóna és szilárd rúd fázishatárán az **újrakristályosodást** követően egykristály alakul ki, melynek **szennyezettsége** a szegregáció miatt az olvadék szennyezettségétől **alacsonyabb**.

A polikristályos rudat lassan mozgó tekercsel induktív módon megolvasztunk. A lassú kristályosodás egykristályt eredményez. Tisztításra is használható. pl.: zónás tisztítás
A fázisok közötti szegregációt használja ki.



A legfontosabb folyamatparaméterek kihangsúlyozása (1 pont)

A mozgózónás eljárás segítségével **nagytisztaságú öntecs** állítható elő, de a **folyamat rendkívül lassú**. Általában akkor használják, ha **speciális tisztasági követelményeket** kell elérni, és akkor is leginkább már növesztett egykristály rudak további tisztítására.

2-04_EPITAXIA_IMPLANT_DIFF_CVD

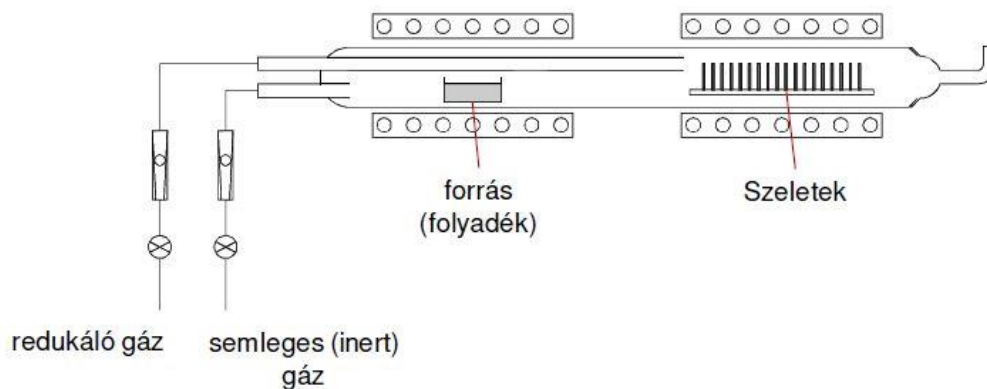
Rétegleválasztás: olyan eljárás, mely során a **hordozóra (szubsztrátra)** nagy felületű, de laterális méretéhez viszonyítva nagyságrendekkel kisebb vastagságú, egyenletes réteget viszünk fel.

Ismertesse a félvezető alapú eszközök gyártása során alkalmazott kémiai gőzfázisú rétegleválasztási technológiát (CVD).

A CVD folyamat definíciója (1 pont)

A folyamat során a **felszínen kémiai folyamatok** játszódnak le. A kiindulási anyagok összefoglaló neve: **prekursor gázok**. A **folyadék** állapotban lévő **prekuzort felmelegítjük a forráspontjáig**. A **szeleteket** olyan hőmérsékletre **hevítjük**, ahol a CVD kémiai folyamata lejátszódik. Ez a két hőmérséklet különböző, így **kétfázisú fűtés szükséges**. Növesztés alatti **adalékolás lehetséges az adalék prekuzorainak felhasználásával**.

Egy sematikus CVD reaktor felrajzolása az ábra egyes részeinek megjelölésével (2 pont)



Félvezető technológiában CVD-vel leválasztott anyagok felsorolása az egyes rétegek funkciójának ismertetésével (2 pont)

(**réz**: a fémezések, chipen belüli **vezetékezés** (modern) anyaga)

(**PSG, BSG, BPSG**: vezetékezések közötti **dielektrikum**)

SiO₂: kapuelektroda esetében használt **dielektrikum**

Si₃N₄: **szigetelőréteg** PECVD-vel

polikristályos szilícium: **kapuelektroda**

Ismertesse a félvezető alapú eszközök gyártása során alkalmazott fizikai rétegleválasztási technológiákat (PVD).

A vákuumpárolgatási folyamat ismertetése sematikus ábra segítségével (3 pont)

A vákuumporlasztási folyamat ismertetése sematikus ábra segítségével (2 pont)

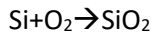
ezek vékonyréteg technológiák előadáson lesznek (tehát még nem voltak)

Ismertesse a szilícium szeletre történő oxidréteg növesztési eljárások alapjait. Rajzolja le a száraz és nedves oxidációs eljárások során használt berendezések sematikus ábráját.

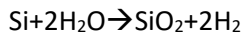
Az oxidnövesztés jelentőségének ismertetése (1 pont)

Az SiO_2 növesztésének két célja lehet: **dielektrikum réteg létrehozása** (pl. kapuelektroda) vagy **maszkréteg kialakítása** diffúzió vagy ionimplantáció előtt.

A száraz (2 pont)



ill. nedves (2 pont) oxidnövesztési technológia berendezéseinek sematikus rajza és a folyamatok rövid ismertetése

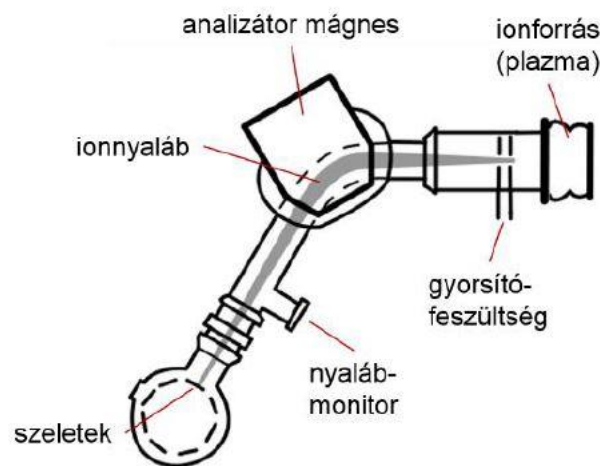


ezen technológiák berendezései az előadáson (legalábbis a diákon) nem voltak, és a folyamatok ismertetéséről sem volt szó

Ismertesse a félvezető alapanyagok ionimplantációval történő adalékolásának alapjait.

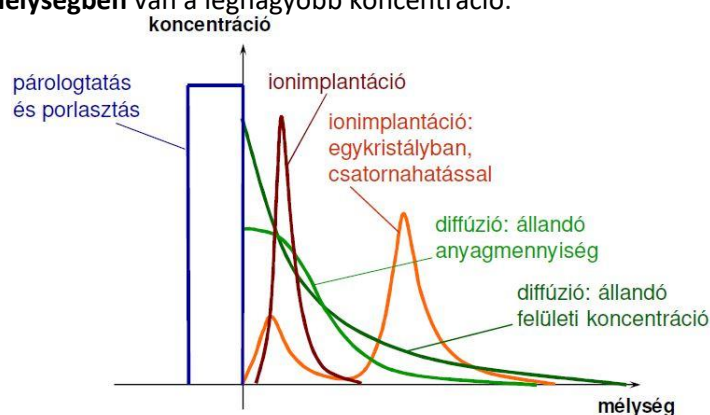
Folyamat: Az **ionimplantáció** olyan művelet, amelynek során a kívánt **adalékatomokat felgyorsított ionokként bombázzuk** az anyag, esetünkben a félvezető lapka felszíni, felszín-közeli rétegébe. Az ionforrás általában egy nagyfrekvenciás elektromos térrel keltett plazma, melyből a töltéseket az anódra kötött nagyfeszültséggel húzzuk ki a töltött részecskéket. Az **analizátor** mágnes változtatható mágneses tere kölcsönhat a mozgó töltéssel és a Lorentz-erő a **tömeg-töltés arányoknak megfelelő sugarú körpályára** kényszeríti a **nyalábot**. Az ionnyalábot ionoptika segítségével manipulálni lehet. A fókuszált ionnyaláb az adalékolni kívánt minta felületébe csapódva beinjektálja a hordozó rácsszerkezetébe az idegen atomokat.

Egy ionimplantációs berendezés sematikus rajza az egyes részek megnevezésével (2 pont)



Az ionimplantációval kialakított adalékkoncentráció mélység-profiljának összehasonlítása a diffúzióval kialakítottéhoz képest (2 pont)

Diffúzió esetében: A legnagyobb koncentráció a **felületen** alakul ki. Az **implantáció** esetében: **meghatározható mélységben** van a legnagyobb koncentráció.



A csatornahatás ismertetése (1 pont)

Csatornahatás: megfelelő orientációjú kristályban **csatorna** alakul ki, amely „vezeti” az adalékokat. Ez általában nem kívánatos, ezért szándékosan **félreorientálják** néhány fokot. A csatornahatás akkor alakul ki, ha az **ionáram iránya egybeesik a kristály valamelyik alacsony Miller-indexű orientációjával**. Ekkor az ionok mozgásának irányában „csatornák” alakulnak ki, ahol az **ionok kisebb valószínűséggel ütköznek**.

Ismertesse a félvezető alapanyagok diffúzióval történő adalékolásának alapjait.***

A diffúzió definíciója, matematikai leírása (1 pont)

kép + A diffúzió atomok vándorlása az őket befogadó anyagi közegben a termikus energia segítségével. Ha az oldott atomok eloszlása a közegben nem homogén, akkor a diffúzió atomi szintű anyagáramlást hoz létre, ami idővel kiegyenlíti a koncentráció különbségeket. Diffúzió: az adalék vagy szilárd (vékonyréteg) formában, vagy gázként áll rendelkezésre, és diffúzióval hatol be a hordozóba.

A diffúzió hőmérsékletfüggésének ismertetése (1 pont)

Kísérleti mérések szerint a diffúziós tényező hőmérsékletfüggése engedelmeskedik az Arrhenius-törvényeknek.

A D diffúziós együttható csak a hőmérséklettől függ:

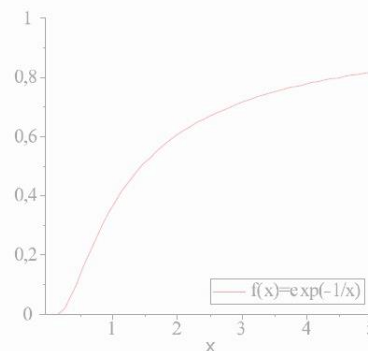
$$D = D_0 \exp\left(-\frac{H}{kT}\right)$$

H : aktivációs energia [J]

k : Boltzmann-állandó
 $1,38 \times 10^{-23}$ [J/K]

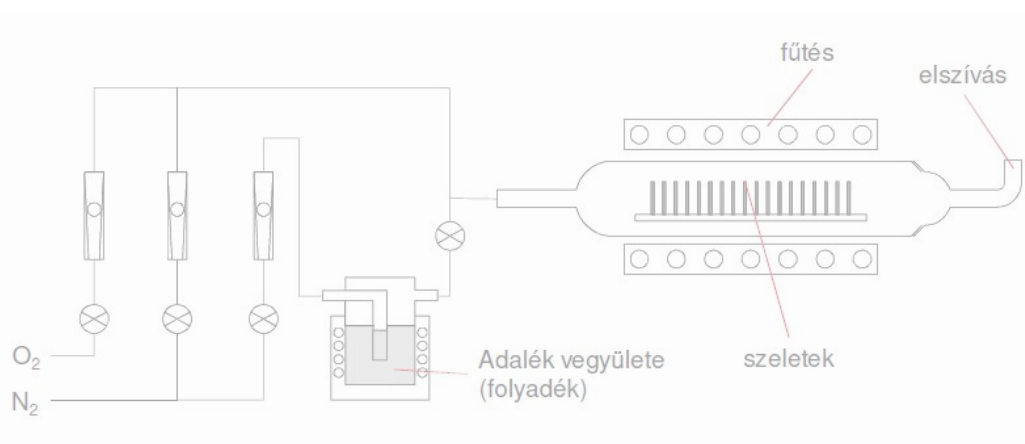
A függvény a végtelenben D_0 -hoz konvergál. Az x a H/k -ra normált hőmérséklet.

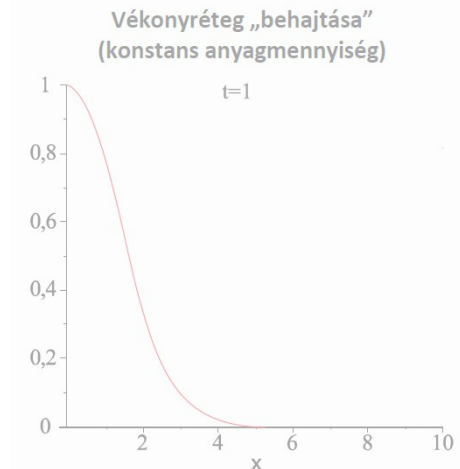
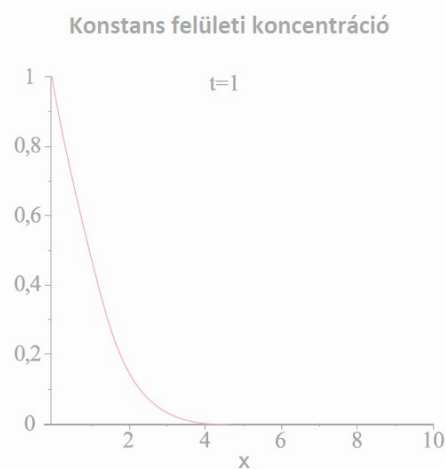
(az ábrán $D_0=1$)



Egy diffúziós kályha sematikus rajzának elkészítése és a folyamat pár soros ismertetése (1 pont)

A szeleteket egy hermetikusan lezárt reakciótartályban elektromos fűtés segítségével melegítik. A reakciótérbe semleges N_2 gáz áramoltatásával vezetik be az adalék vegyület gőzét. Az adalékanyagot, szintén villamos hevítéssel hozzák gázhalmazállapotba. A pontos diffúziós profil kialakításához a szeletek hőmérsékletét értékét $\pm 0,5$ °C pontossággal kell stabilizálni. Ilyen diffúziós kályhával biztosítható, hogy az adalékkoncentráció a szilícium szeletek felületén állandó legyen.



Konstans felületi koncentráció mellett kialakult diffúziós profil felrajzolása (1 pont)Konstans anyagmennyisége mellett kialakult diffúziós profil felrajzolása (1 pont)**2-05_IC_LITOGRAFIA**

Mutassa be a félvezető eszközök rajzolatkialakítására szolgáló litográfia általános szekvenciáját és röviden ismertesse az egyes lépések lényegét!

A litográfia apjainak ismertetése, definíció (1 pont)

Jelentése kőrajz, nálunk **síkbeli alakzat létrehozása félvezető szelet felületén**. A mikroelektronikában litográfián azon **technológiai eljárások összességét** értjük, amelyekkel az **áramkörök rajzolatait előállítják**. A litográfiai technológiai folyamatban a kívánt rajzolat valamilyen **mesteradat forrásból képátviteli eljárással** kerül az áramköri hordozó (szelet, maszk, stb.) felületére, rendszerint **strukturált rezisztréteg** formájában.

A litográfia egyes lépéseinek felsorolása (2 pont)

- 0: mintázandó anyag felvitele
- 1: reziszt felvitele
- 2: reziszt megvilágítása „árnyékoló” maszkon keresztül
- 3: előhívás, azaz a reziszt leoldása
- 4: mintázandó anyag nedves vagy száraz marása
- 5: maradék reziszt leoldása

A litográfiai lépések magyarázata az adott folyamat lényegének ismertetés (2 pont)

- 1: **rezisztfelvitel előtt** meg kell **tisztítani a szeletet RCA eljárással**; szerves, oxidréteg és fémes (ionos) szennyeződések eltávolítása. Ezután **viszik fel a rezisztet**, ami majd a **mintát alakítja ki**.
- 2: Az **exponálás** során UV fényel **világítjuk meg a rezisztet**, miután **maszkokkal** kialakítottuk a **rajzolatot** magát. A **maszk elkészítése** általában valamilyen **sugárral** történik.
- 3: Az **előhívás** folyamán általában pozitív rezisztet alkalmaznak, az **előhívó folyadék felvitele pedig forgatva** történik. **Leoldjuk a rezisztet**.
- 4: A maratás során a mintázandó anyagot száraz vagy nedves maratása történik, kialakul a **rajzolat**.
- 5: Végül le kell **oldani a maradék rezisztet**.

Ismertesse a fényérzékeny reziszt felvitelére alkalmazott spin-coating technológiát.

Mutassa meg mi a különbség a pozitív és a negatív maszkok között.

A spin-coating folyamat ismertetése a folyamat lényeges paramétereinek felsorolása (2 pont)

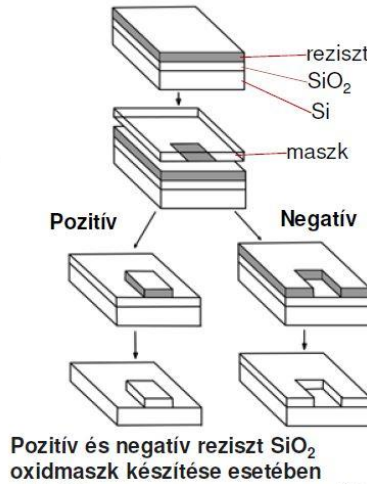
A **folyadék halmazállapotú rezisztet** felcseppentjük, és a szeletet a középpontján áthaladó tengely körül **forгатjuk**. (Fordulatszám: **1200-4800 1/min**) Az eredmény: egyenletes, **0,5-2,5 μm** vastagságú bevonat. Finomabb rajzolathoz vékonyabb reziszt szükséges. **Előfűtés**: Az oldószerek eltávoznak.

A pozitív és a negatív maszk értelmezése (1 pont)

Pozitív maszk esetén a maszk és a réteg **mintázata megegyezik**. **Negatív** maszk esetén a maszk és a réteg **mintázata egymás komplementere**.

illetve működésük leírása egy-egy ábra segítségével (1+1 pont)

A **pozitív** működésű **reziszt oldhatóvá** válik, ahol az exponáló sugárzás érte, ezért a maszk alakjára alakul ki a mintázat. A **negatív** működésű **reziszt az exponáló sugárzás helyén oldhatatlanná** válik, maszk komplementerének mintájára alakul ki a mintázat.



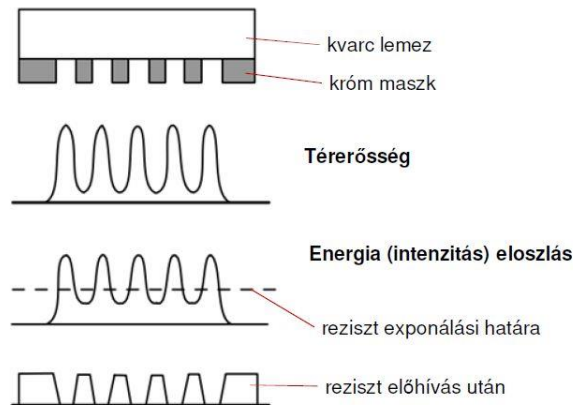
Mutassa be a rajzolat kialakítás során használt maszkok különböző fajtáit! (hagyományos és fázistoló maszkok).

A maszkok alkalmazásának jelentősége (1 pont)

A reziszt valamilyen sugárral történő megvilágítása során maszkot használunk „**árnyékolónak**”, hogy a **reziszt megfelelő mintázatban** alakuljon ki.

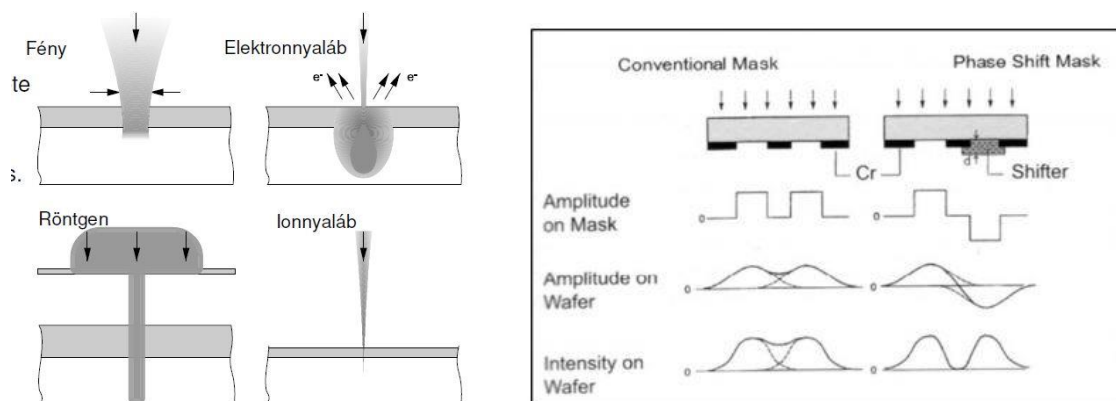
A hagyományos (2 pont)

Hagyományos maszk például a **kvarclemezen** alkalmazott **krómmaszk**. Működése a képen látható.



valamint valamilyen fázistoló maszk (2 pont) bemutatása egy-egy rajz segítségével

A fázistoló maszk esetében a **felbontás javítható**, hiszen azt a fény diffrakciója korlátozza: $d = k \cdot \lambda / (N \cdot A)$ egyenletben k növelésével érhető ez el. Minimalizálja a diffrakciós hatást.



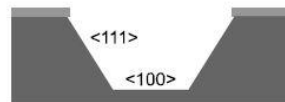
Ismertesse a litográfiában használt előhívási eljárásokat! Röviden ismertesse ezek főbb tulajdonságait!

Az izotróp és anizotróp maratási technológiák ismertetése rajzon (2 pont)

Izotróp maratáshoz:
 $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH}$
 (fluorsav + salétromsav + ecetsav)

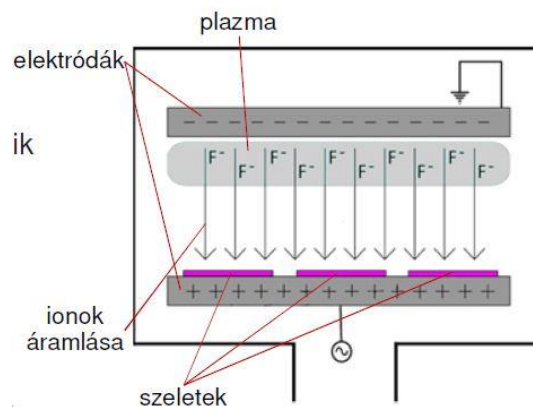


Anizotróp maratáshoz
 KOH (kálium-hidroxid)



A plazma marás (1 pont)

Plazma maratás: **gerjesztéssel plazmát állítanak elő**, amelyben ionok vannak. Ezek a megfelelő potenciálon lévő hordozó felé **gyorsulnak**, elérik a **felszínét**, így fejtik ki **maró hatásukat**. (intuitívan lerajzolható)



valamint a reaktív ionmarás (2 pont) bemutatása egy-egy ábra segítségével

Reaktív ionmaratás: A *plazmamarás* speciális formája, az ionok **kémiai reakció** segítségével kifejtik maró hatásukat. A marást kiváltó anyag leggyakrabban **kis rendszámú, negatív ionok**.

Anyagtudomány

G-01 - KRISTÁLYTANI ALAPISMERETEK

Számítsa ki az (1 5 7) és a (2 4 5) síkok közötti szöget egy FKK rácsban!

Két sík által bezárt szög:
 mivel

$$(\vec{h}_1 k_1 l_1) \perp [h_1 k_1 l_1] \text{ és } (\vec{h}_2 k_2 l_2) \perp [h_2 k_2 l_2],$$

valamint

$$\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2 = |\vec{r}_1| \cdot |\vec{r}_2| \cos \varphi,$$

$$\cos \varphi = \frac{\vec{r}_1 \cdot \vec{r}_2}{|\vec{r}_1| \cdot |\vec{r}_2|} = \frac{h_1 \cdot h_2 + k_1 \cdot k_2 + l_1 \cdot l_2}{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2} \cdot \sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}}$$

Milyen irányba mutat a (3 4 7) és az (1 4 2) síkok metszésvonala egy TKK rácsban? ***

Benne fekszik-e a [2 0 6] irány a (-3 5 1) síkban? Válaszát számítással indokolja!

Egy kristálytani sík messe az x, y és z koordináta tengelyeket a 2-, 1- és 3- szoros rácsállandónál. A szóban forgó sík Miller-indexeit a következők szerint határozhatjuk meg: vesszük a metszéspontok reciprokait (1/2, 1/1, 1/3), a törtet meg szorozzuk a nevezőik legkisebb közös többszörösével, hogy egész számokból álló számhármassunk legyen. A legkisebb közös többszörös az esetünkben 6, így a számhármassunk: 3, 6, 2. Ha lehetséges, akkor a számhármassunk számait a legnagyobb közös osztóval egyszerűsíthetjük. Mivel ez most nem lehetséges, ezért a szóban forgó sík Miller-indexei: (3 6 2). Ha az irányból így kapott sík és a megadott sík szöge 90 fok, akkor benne fekszik.

VAGY

Ha köbös rendszerben egy (h k l) kristálytani sík tartalmaz egy [u v w] kristálytani irányt (vagyis párhuzamos azzal), akkor a szóban forgó sík normálisa (h k l) és a szóban forgó irány ([u v w]) merőleges egymásra. Tehát a **skaláris szorzatuk zérus** lesz az alábbiak szerint: $hu + kv + lw = 0$.

G-01 - REÁLIS KRISTÁLYOK, RÁCSHIBÁK

A hibák mindegyikének elsősorban az a jelentősége, hogy a gyakorlatban a fémek szilárdsága kevesebb mint 1%-a az ideális modell alapján számítható szilárdságnak.

Ismertesse a pontszerű rácshibákat! Térjen ki a keletkezési és eltűnési mechanizmusukra!

Fejtse ki szerepüket az ötvözetekben!

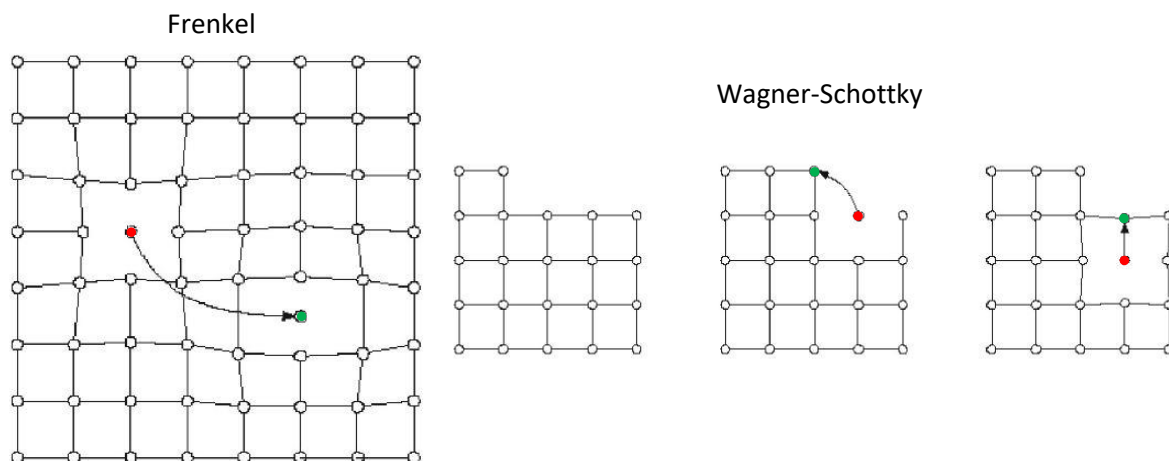
A **ponthibák 0 dimenziósak**. Létező típusai a **vakancia**, **szubsztitúciós atom** és az **intersztíciós atom**.

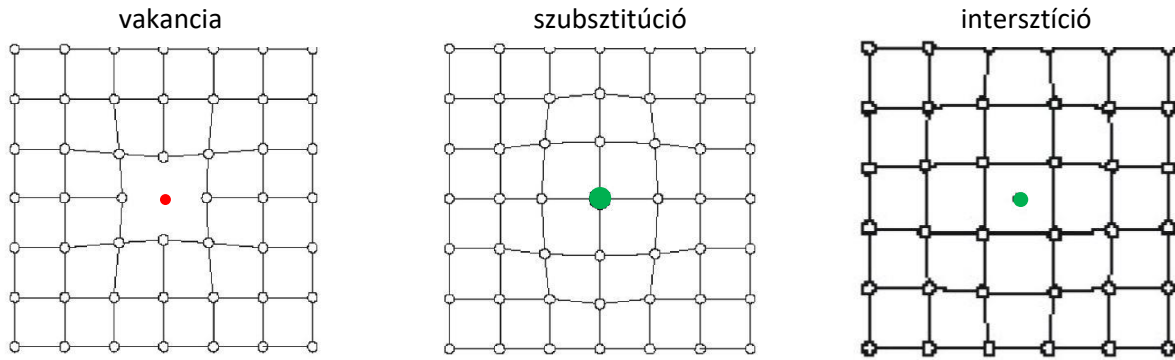
Eltűnési mechanizmusok: A **vakancia** egy **atom hiánya** a rácsból. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így a vakancia környezetében **rácstorzulás** lép fel.

Keletkezési mechanizmusok: A **szubsztitúciós atom** egy **idegen atom a rácspontban**. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így a szubsztitúciós atom környezetében **rácstorzulás** lép fel. Az **intersztíciós atom** egy **idegen atom a rácspontok között**. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így az intersztíciós atom környezetében **rácstorzulás** lép fel.

Frenkel mechanizmus esetén nagy **energiaköltség**, pl. részecske-besugárzás hatására egy **rácstatom elhagyja a helyét**, és **intersztíciós helyzetbe kerül** (saját intersztíciós atom). Rendkívül **nagymértékű rácstorzulást** okoz.

A **Wagner-Schottky mechanizmus** folyamán a szabad felületről **atomok távoznak el**, amelyek helyére az anyag belsejéből ugranak fel atomok, így tulajdonképpen egy **vakancia** diffundál az anyag belsejébe. Az ötvözetekben is jelentősek a **ponthibák: szilárd oldatokban** [alapfém (A) + oldott atom (B)] **szubsztitúció** és **intersztíció** is kialakulhat, de egy **teljesen új (A+B) második fázis is keletkezhet**. Második fázisban a **részecske szerkezete és összetétele eltér** az addigiaktól.

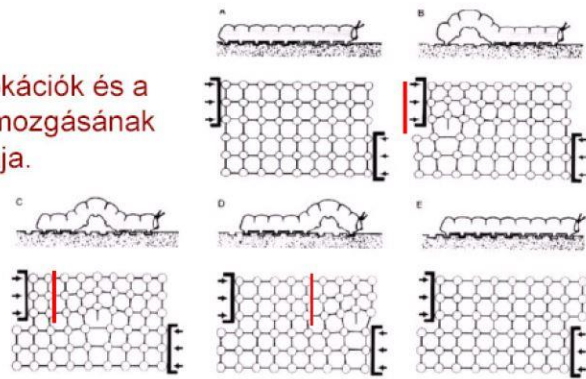




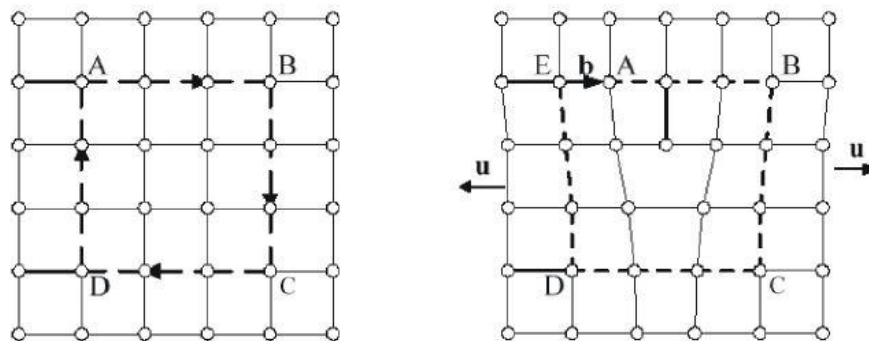
Ismeresse a vonalszerű rácshibákat! Ismeresse szerepüket a képlékeny alakváltozás során!

A vonalszerű hibák **1 dimenziósak**. A **diszlokációelmélet** szerint az alakváltozás nem egy lépésben történik, hanem a diszlokációk mozognak. A képlékeny alakváltozás során a kristálysíkok nem egy lépésben **csúsznak el** egymáson, hanem **folyamatos mozgással**, azaz lesznek olyan tartományok, ahol az elcsúszás már megtörtént, és lesznek olyanok, ahol még nem. Ezeket a tartományokat választják el a **diszlokációknak** nevezett határvonalak. A képlékeny alakváltozás során a vonalszerű hibák mozgásával **hernyó-analógiát** lehet állítani.

A diszlokációk és a hernyó mozgásának analógiája.



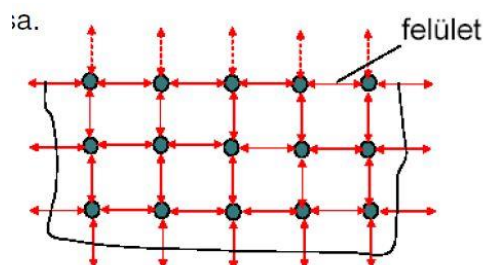
Burgers-kör: Ha egy ép kristályban egy rácspontból kiindulva azonos rácspontnyi lépést teszünk meg jobbra, lefelé, balra, majd felfelé, akkor visszajutunk a kiindulópontba. Ha a kristály diszlokációt tartalmaz, akkor a **kezdő- és végpont nem lesz ugyanaz**. Az őket összekötő vektor a **Burgers-vektor**.



Ismeresse a felületszerű rácshibákat!

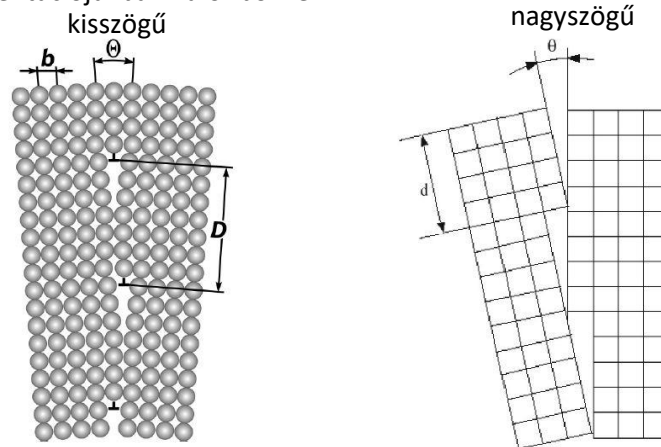
A felületszerű hibák **2 dimenziósak**. Típusai: makroszkópikus felület, kisszőgű szemcsehatár, nagyszögű szemcsehatár, fázishatár és rétegződési hiba.

Makroszkópikus felület: A kristály **felületén** az atomok **magasabb energiaszinten** vannak, mint a kristály belsejében, mivel **nem jön létre minden irányban atomi kötés**. A felület **energiaszintje csökken**, ha a felülethez **újabb atomok kapcsolódnak**. **Oxidrétegek** alakulnak ki, és **kémiai reakciók** mennek végbe.

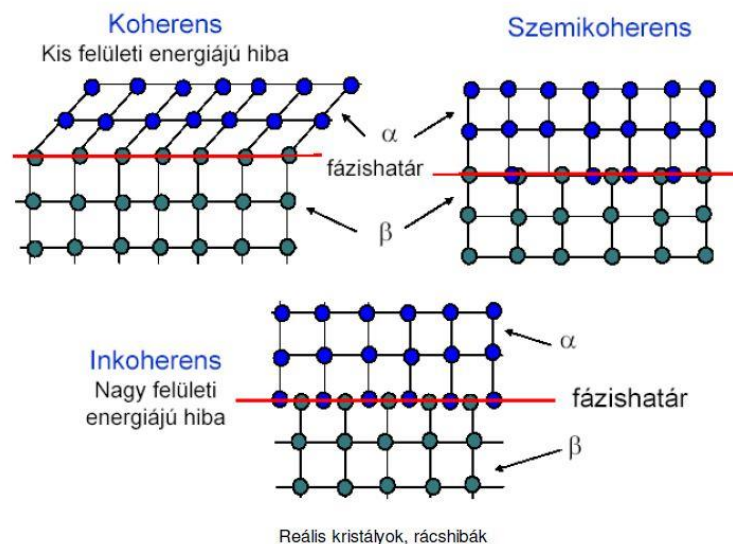


Kisszögű szemcsehatár: Azonos előjelű **diszlokációk egymás alá rendeződése**. A kisszögű szemcsehatár által elválasztott tartományok orientációja közötti szögzülönbség: $Q < 5^\circ$.

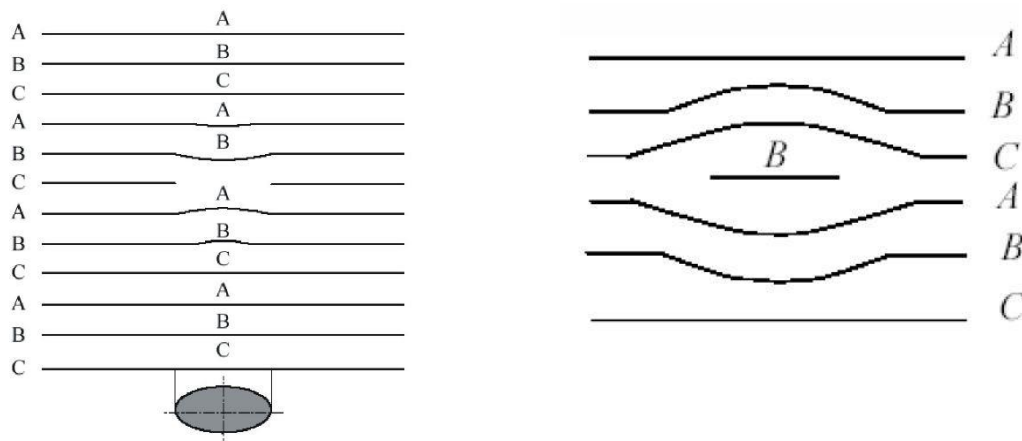
Nagszögű szemcsehatár: A dermedés során **véletlen orientációjú kristálycsírák összenőnek**. Az egyes szemcsék csak orientációjukban különböznek.



Fázishatár: az anyag különböző kémiai összetételű vagy halmazállapotú tartományait fázishatárok választják el egymástól, így például fázishatárnak nevezzük a többfázisú fémötvözetekben az egyes szövetelemek tartományainak határfelületeit.



Rétegződési hiba: két fajtája van; Atomok hiánya miatt jött létre (**belső rétegződési hiba**). Az atomhiány miatt megváltozik lokálisan a rétegződési rend. Beékelődött atomok miatt jött létre (**külső rétegződési hiba**). A többlet-atomok miatt lokálisan megváltozik a rétegződési rend.

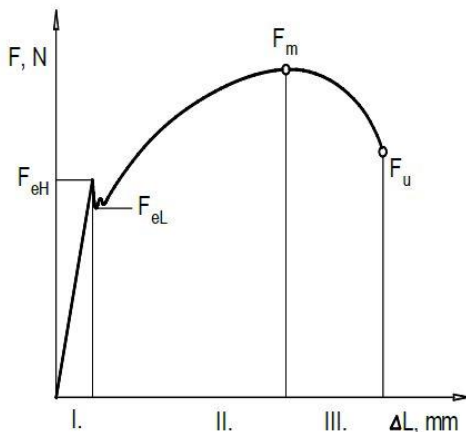


G-02 - FÉMEK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, MECHANIKAI VIZSGÁLATOK

Ismertesse a szakítóvizsgálatot és a belőle nyerhető szabványos mérőszámokat!

A szakítóvizsgálat célja a szerkezeti anyagok **terhelhetőségét**, **alakváltozó képességét** illetve **szívósságát** (az anyag törésig tartó energiaelnyelő képessége) jellemző **mérőszámok**, valamint **anyagjellemzők** meghatározása. A mérőszámok és anyagjellemzők között az a lényeges különbség, hogy az **anyagjellemzők a vizsgált próbatest geometriájától függetlenek**.

Az S0 kiinduló keresztmetszetű és L0 kezdeti hosszúságú próbatestet egytengelyű húzó igénybevétel mellett adott sebesség mellett addig **nyújtunk**, ameddig be nem következik a **szakadás**. A vizsgálat során mérjük a **terhelés változását** a darab nyúlásának függvényében. A vizsgálat során regisztráljuk az összetartozó **erő-elmozdulás értékeket**.



4.7. ábra. Egy jellegzetes szakító diagram

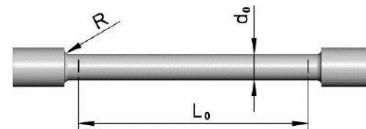
A diagram az alábbi szakaszokra bontható:

I. **Rugalmas alakváltozás:** A terhelés megszűnése után a darab **visszanyeri eredeti alakját**.

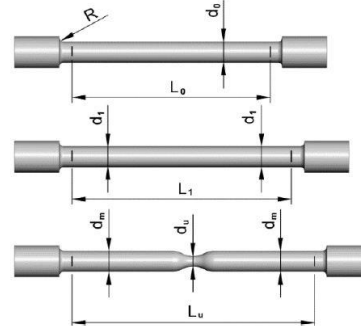
II. **Egyenletes alakváltozás:** A képlékeny **deformáció** a mérőhossz minden pontján **azonos mértékű**

III. **Kontrakció:** A képlékeny **deformáció** egy **szűk tartományra** korlátozódik.

Szabványos mérőszámok: alsó folyáshatár, felső folyáshatár, terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár, szakítószilárdság, százalékos keresztmetszet-csökkenés (kontrakció) és százalékos szakadási nyúlás.



4.6. ábra. Hengeres próbatest a releváns kiindulási méretekkel



4.8. ábra. A deformálódott próbatest alakja az egyes jellegzetes szakaszokban

Feszültségi mérőszámok

Folyáshatár [MPa]

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}, \quad R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0}$$

Szakítószilárdság [MPa]

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

Alakváltozási mérőszámok

Kontrakció

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} 100 [\%]$$

Szakadási nyúlás

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} 100 [\%]$$

Ismertesse a mérnöki és a valódi rendszerben mért mechanikai tulajdonságok közötti különbségeket!

Mindkét rendszerben értelmezhetők feszültségek és alakváltozások, amelyek a szakítóvizsgálat során rögzített szakítódiagram bármely pontjában kiszámíthatók az aktuális terhelő erő és az aktuális teherviselő keresztmetszet függvényében.

A feszültség értelmezése a **mérnöki rendszerben** az aktuális erőt mindig a **kiinduló keresztmetszetre (S₀)** vonatkoztatja. **Valódi rendszerben** a feszültségeket az **aktuális erőből** és az **aktuális teherviselő keresztmetszetből (S)** számítják.

G-03 - ÖTVÖZETEK SZERKEZETE ÉS TERMIKUS VISELKEDÉSE, KRISTÁLYOSODÁS

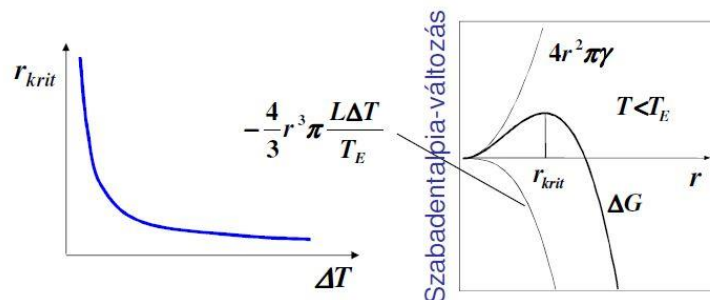
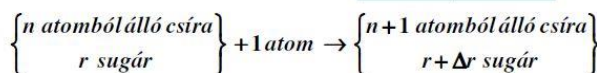
Milyen energetikai feltételei vannak a kritikus csíraméret létrejöttének? Hogyan határozhatjuk meg egy gömb alakú csíra kritikus méretét?

Magképződés: egy kritikus térfogatban a megfelelő fajtájú atomok elrendeződése olyan, ami jellemző az új fázisra (szerkezet, koncentráció, méret). Ezt egy átmeneti állapot előzi meg, amelyben a **szabadenergia nagyobb, mint az új vagy a kezdeti állapotban**. A kristályosodás során az ömledék különböző pontjain jönnek létre eltérő orientációjú kristályosodási középpontok. A **kritikus méret fölötti szemcsék növekszenek** az alattiak pedig feloldódnak. G :=entalpia, γ :=felületi energia.

(KRITIKUS MÉRET MEGHATÁROZÁSA)

$$\Delta G(r) = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v + 4\pi r^2 \gamma \quad \gamma - \text{a felületi energia}$$

$$\frac{d}{dr}(\Delta G) = 8\pi r\gamma - 4\pi r^2 \Delta G_v = 0 \rightarrow r_{krit} = \frac{2\gamma}{\Delta G_v} = \frac{2\gamma T_E}{L\Delta T}$$



Milyen homogén és heterogén kristályosodási mechanizmusokat ismer? ***

Ismertesse a szilárd oldatok, az intermetallikus vegyületek és az eutektikus ötvözetek legfontosabb tulajdonságait!

Szilárd oldat esetén az alkotók **oldják egymást**. Olyan ötvözet, amelyben az ötvöző atomok beépülnek az alapfém rácsába, és az így **létrejött szerkezet kristályrácsa az oldó anyagéval azonos**. Az oldat lehet **szubsztitúciós** és **intersztitúciós** is.

Az **intermetallikus** vegyületekben az alkotók **kémiai reakcióba** lépnek egymással. Nem áll fenn a szilárd oldat képződésének lehetősége. Az intermetallikus fázisok összetétele megfelel egy meghatározott $AmBn$ atomaránynak, de előfordul, hogy oldják az alkotóikat. **Rácsuk az alkotók rácsától eltérő** szerkezetű. **Kristályosodásuk állandó hőmérsékleten** történik.

Az **eutektikus ötvözetekben** az alkotók **apró kristályok elegyivé dermednek**. Ha az alkotók egymással sem szilárd oldatot, sem fémes vegyületet nem alkotnak, akkor az ilyen ötvözet a két alkotó kristályainak az elegyivé dermedhet. **Folyadékból megdermedt heterogén szerkezet** neve **eutektikum**, míg a **szilárd állapotban keletkező hasonló szerkezet** neve **eutektoid**. **Heterogén kétfázisú szerkezetet** alkotnak. A kristályosodástól függően **lemezes**, vagy **szemcsés** szerkezetűek lehetnek. Hasonlóan a színtémekhez, **állandó hőmérsékleten dermednek meg**.