

Elektronikai technológia és anyagismeret

1.ZH mintakérdések kidolgozása

Alkatrészek

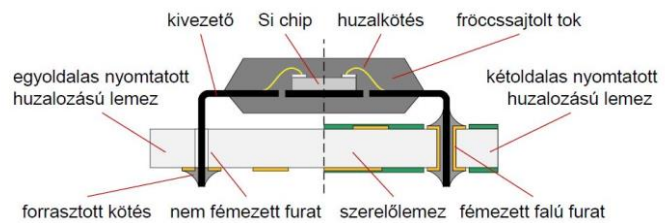
1-01 A FURAT- ÉS FELÜLETSZERELHETŐ ALKATRÉSZEK MEGJELENÉSI FORMÁI ÉS TÍPUSAI

Mutassa be a furatszerelt alkatrészeket rajzokkal és leírással!

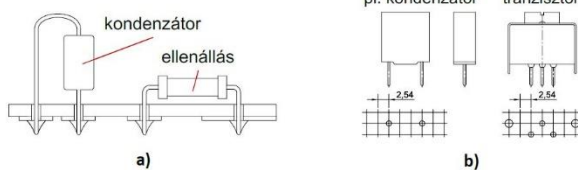
Furatszerelt alkatrészek definíciója (1 pont)

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 (alkatrész lábakkal) 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)



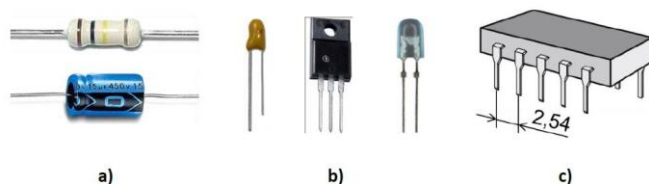
1.2. ábra. Furatszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetés mechanikai tulajdonságai szerinti a) hajlékony kivezetésekkel rendelkező alkatrészek; b) fix, merev kivezetésekkel rendelkező alkatrészek

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.

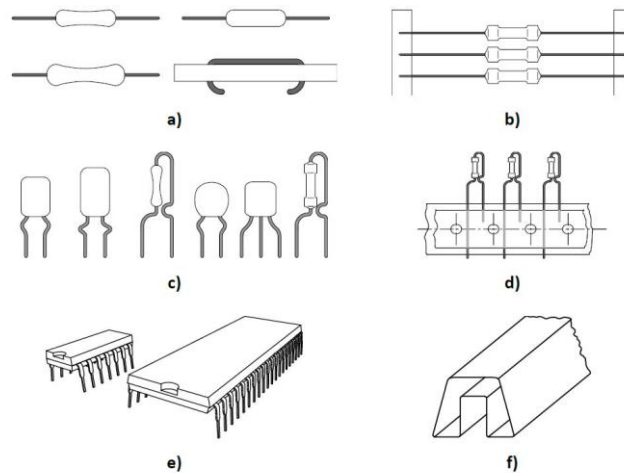


1.3. ábra. Furatszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése alapján: a) axiális kivezetésű; b) radiális kivezetésű; c) kerületi menti kivezetőkkel rendelkező alkatrész

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.

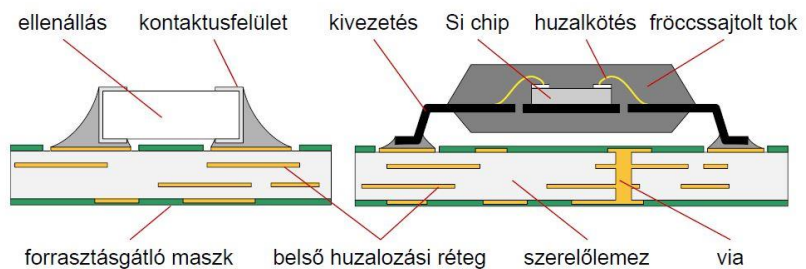


1.10. ábra. Furatszerelt alkatrészek kivezetések szerinti csomagolása: a) axiális kivezetésű alkatrészek; b) kétoldalas hevederezés; c) radiális kivezetésű alkatrészek; d) egyoldalas hevederezés; e) integrált áramkörök; f) műanyag csőtár

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



1.11. ábra. Tipikus felületszerelt alkatrészek

(kontaktusfelületek) rendelkeznek. Az alkatrészeket a kötött elrendezésű kivezetéseknek megfelelően, előre kialakított áramköri vezetékmintázatra 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.

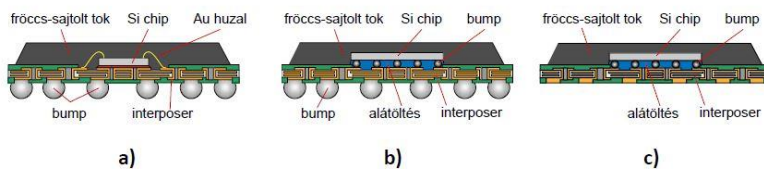
felületszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése szerint (1p)

A felületszerelt integrált áramkörök csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése alapján is lehetséges. Kerület menti kivezetések: SOIC, QFP, PLCC, QFN. Tok alján lévő rácselevezésű metszéspontban elhelyezkedő kivezetések: BGA, FC-BGA, LGA.

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

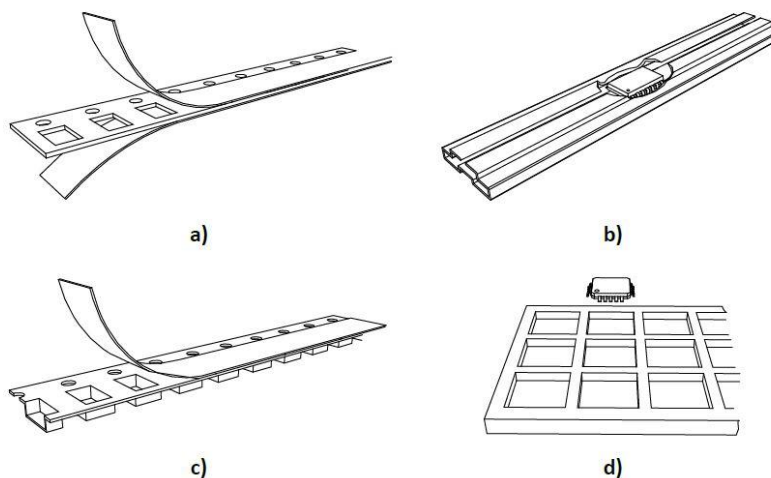


1.14. ábra. Rácselrendezésű kivezetőkkel rendelkező felületszerelt alkatrészek:
a) BGA; b) FC-BGA; c) LGA tokozású alkatrészek

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, rászterosztásuk pedig átlagosan ~1,27 mm. Az FC-BGA típusú alkatrészek akár 1600 kivezetéssel is rendelkezhetnek, rászterosztásuk ~0,8 mm nagyságrendű. Az LGA típusú alkatrészek akár 2.000 kivezetéssel is rendelkezhetnek, rászterosztásuk pedig ~0,8 mm nagyságrendű.

felületszerelt alkatrészek csomagolási módjai (1 pont)

A felületszerelt alkatrészek csomagolásához papír szalagtárcákat, műanyag szalagtárcákat, műanyag csőtárcákat és műanyag tálcátárcákat 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 szalagtárcákat mozgatják alkatrész adagoláshoz – egyszerre akár 50-60 szalagot is. A műanyag csőtárcák 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).

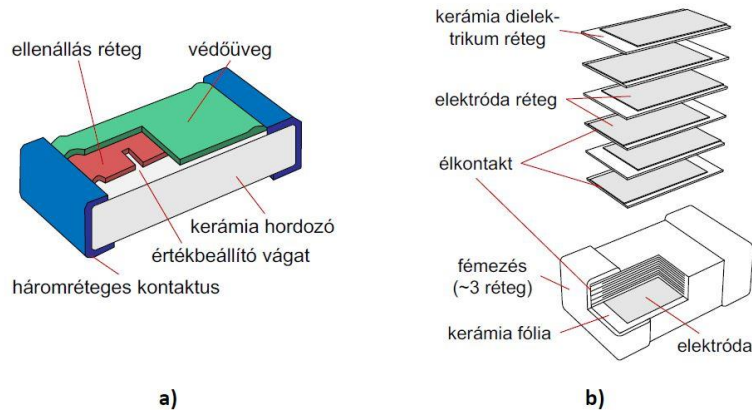


1.17. ábra. Felületszerelt alkatrészek kivezetések szerinti csomagolása: a) papír szalagtár (pl. SMD ellenállások); b) Műanyag csőtár (pl. SOIC); c) műanyag szalagtár (pl. SMD kondenzátorok); d) műanyag tálcátár (pl. BGA, QFN, QFP)

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

Felületszerelt ellenállás konstrukciója (2 pont)

Az alábbi, 1.12. ábra a) 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 [12. ábra b)] 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?

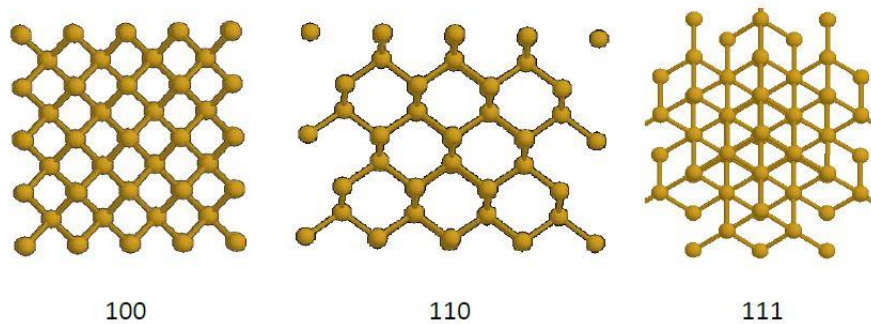
Az anizotrópia fogalmának ismertetése (1 pont)

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

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

Az egykristály fizikai (termikus, mechanikai, elektromos, marási) tulajdonságai anizotropak. Egy ideális Si egykristályban a gyémántrács elemi cellája a tér mindhárom irányában végtelen hosszan ismétlődik. A valóságban előforduló egykristály véges kiterjedésű ezért a translációs szimmetria a kristály külső atomjainak közelében ugyan sérül, de azoktól távolosó tartományokban jó közelítéssel tekinthető ideálisnak. A makroszkopikus kristály örökli az elemi cella szimmetriaviszonyait. az egykristály külső hatásokkal szemben irányfüggő viselkedés mutat, azaz anizotrop. A makroszkopikus polikristályos anyag irányfüggetlen viselkedést mutat, azaz izotróp.

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

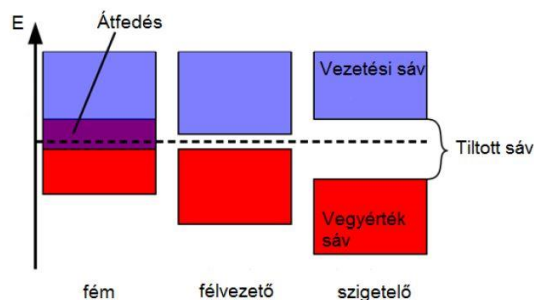


2.2. ábra. A szilícium kristályrácsa 3 különböző irányból nézve ((100), (110), (111)) eltérő atomi sűrűséget mutat.

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.



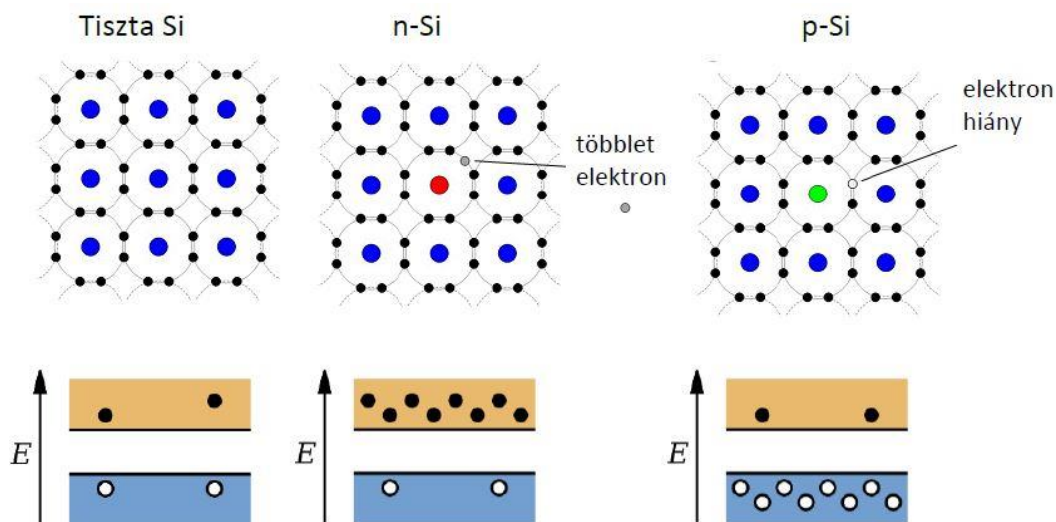
2.1. ábra. A fém, félvezető és a szigetelő anyagok sáv szerkezetének sematikus rajza.

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 sávél 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 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 tervezérelt 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 izzított szilíciumpálcára válik ki a készítési folyamat végén.

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

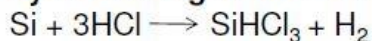
A Si egykristály-gyártás alapanyaga a kvarchomok, melyet nagy tisztaságban Ausztrália partjainál bányásznak. A kvarchomokból ívkemencében 1500...2000°C közötti hőmérsékleten szénrel redukálva – állítható elő a nyers, 2...3% szennyezőt tartalmazó Si. A reakció során keletkező szén-monoxid gáz halmazállapotban 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 izzított szilíciumpálcára folyamatosan válik le a gőzfázisból.

1. Homokból ívkemencében magas hőmérsékleten nyers Si



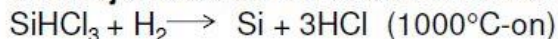
Ez a Si még szennyezett.

2. Nyers Si reagáltatása sósavval



A triklór-szilán gáz, könnyen desztillálható.

3. CVD eljárással Si leválasztása triklór-szilánból



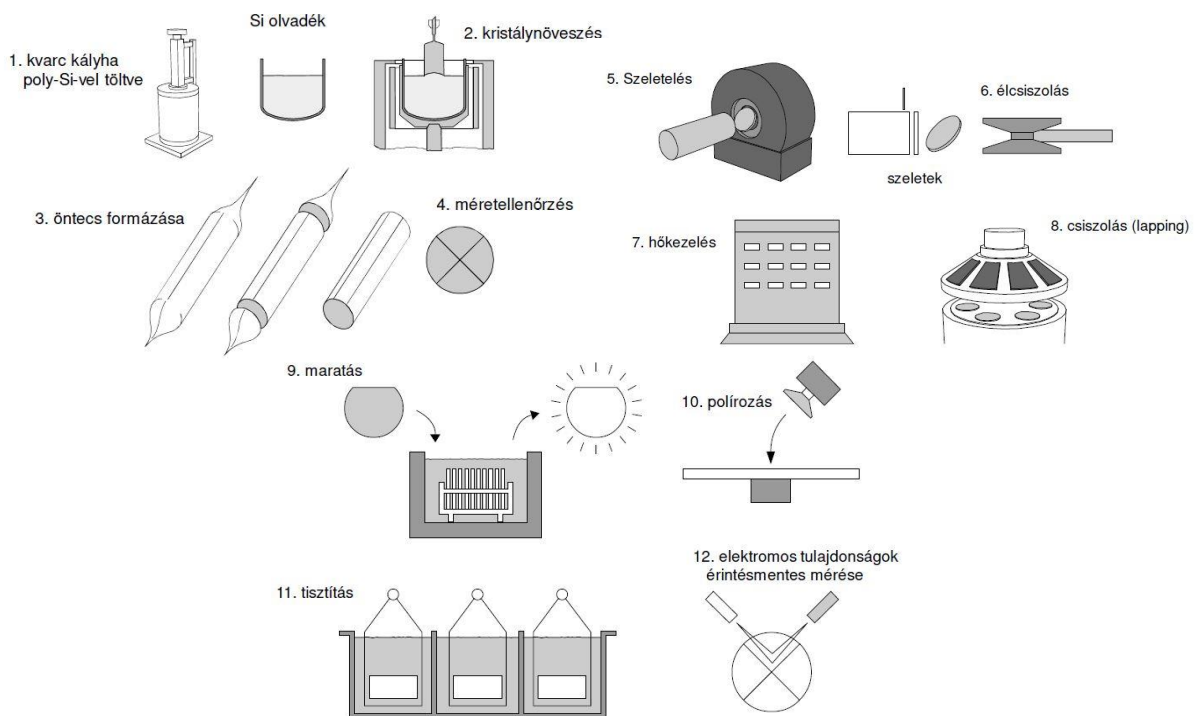
Az utolsó lépésben keletkezett Si gőzfázisból válik ki egy pálcára (szintén Si).

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 húzás után a rudak végeit levágják és pontos méretellenőrzést hajtanak végre.



A szeleteket mechanikai megmunkálására használt technológiák ismertetése (1 pont)

Az előformázást követően a Si-egykristály rúdból – a típusra és orientációra jellemző síkfelület (flat) beköszörülése után – belső vágó élű szerszámmal kb. 1 mm vastag szeleteket vágnak. 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, kristályhibákat csak ponthibák formájában tartalmazó Si-egykristály szelethez (wafer).

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

Az egykristály fizikai (termikus, mechanikai, elektromos, marási) tulajdonságai anizotrópák. Egy ideális Si egykristályban a gyémántrács elemi cellája a tér mindhárom irányában végtelen hosszan ismétlődik. A valóságban előforduló egykristály véges kiterjedésű ezért a translációs szimmetria a kristály külső atomjainak közelében ugyan sérül, de azoktól távolosó tartományokban jó közelítéssel tekinthető ideálisnak. A makroszkopikus kristály örökli az elemi cella szimmetriaviszonyait. az egykristály külső hatásokkal szemben irányfüggő viselkedés mutat, azaz anizotrop. A makroszkopikus polikristályos anyag irányfüggetlen viselkedést mutat, azaz izotróp.

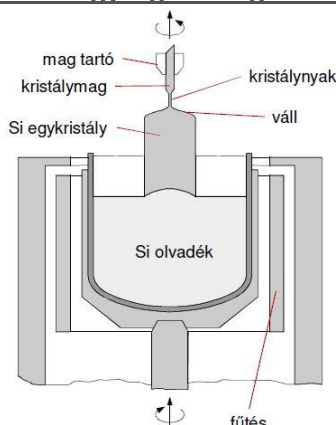
A flat szerepének és kialakításának ismertetése (1 pont)

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

Magyarozó 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 olvadékából orientált kristálmaggal 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)

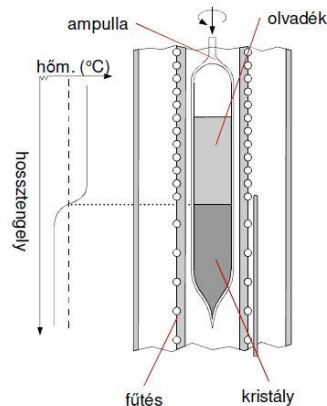
A fém szilícium olvadáspontja 1414-15 Celsius fok. A hőmérsékletprofil az egykristály húzás sebességével (ált. $\leq 1\text{mm/min}$), a beoltókristály, ill. kristályrúd és a téglés CZ-eljárásnál a téglés forgatásával (~ 20 fordulat /min) szabályozható.

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)

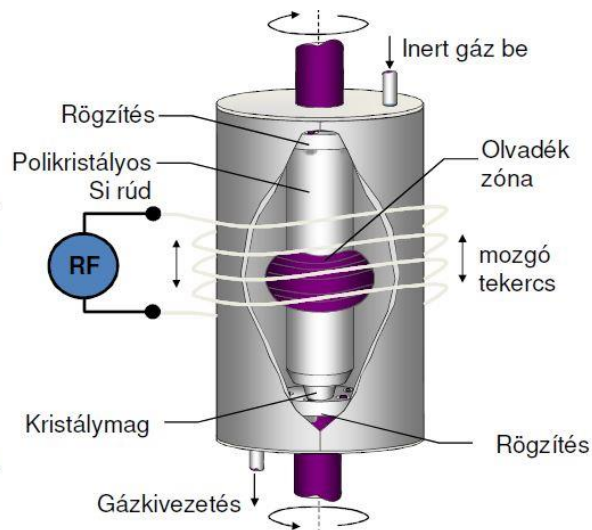
Az ömledék-egykristály fázishatár az ampulla húzási sebességével halad, miközben az egykristály növekszik.

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 tisztítás során a poly-Si rudat egy lassan mozgó nagyfrekvenciás gerjesztésű tekercssel inductív 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 inductív 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 tisztítás segítségével nagytisztaságú öntecs állítható elő, de a folyamat rendkívül lassú, ezért 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

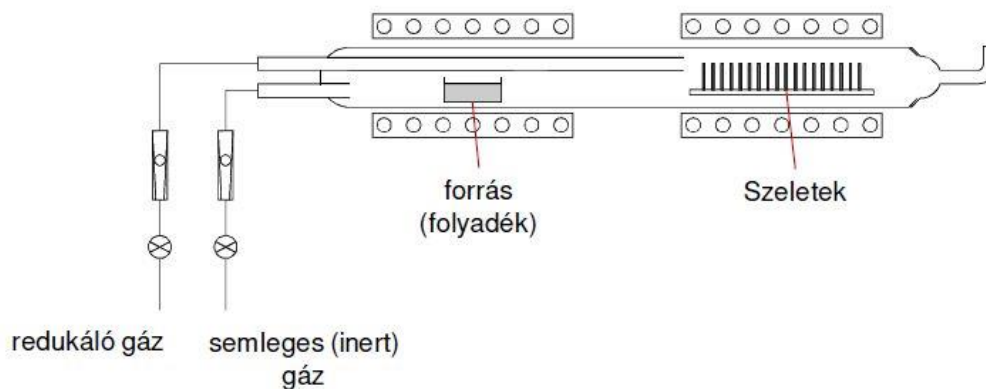
Rétegleválasztás: olyan eljárás, mely során a hordozóra (szubsztrátra) nagy felületű, de laterális méretéhez viszonyítva nagyságrendekkel kisebb vastagságú, egyenletes réteget viszünk fel.

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 kétzónás 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: vezetékek 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)

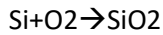
ezek vékonyréteg technológiák előadáson lesznek (tehát még nem voltak)

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

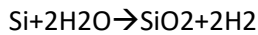
Az oxidnövesztés jelentőségének ismertetése (1 pont)

Az SiO₂ 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

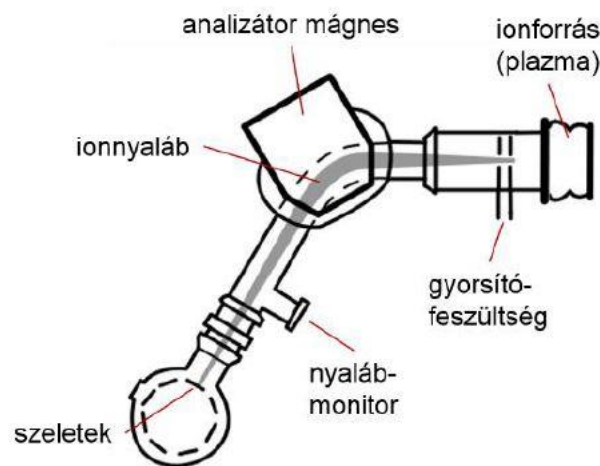


ezen technológiák berendezései az előadáson (legalábbis a diákon) nem voltak, és a folyamatok ismertetéséről sem volt szó

Ismertesse a félvezető alapanyagok ionimplantációval történő adalékolásának alapjait.

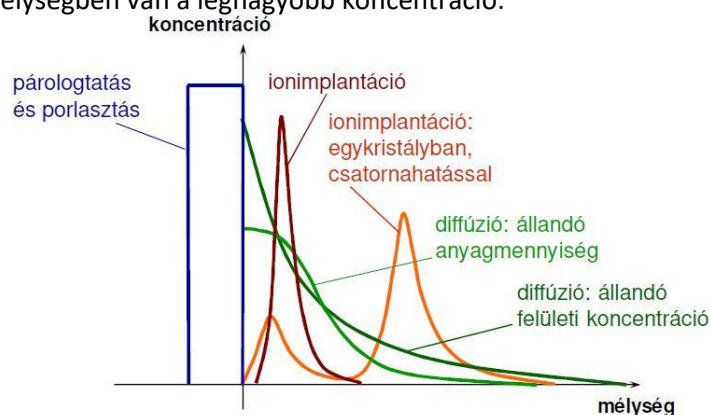
Folyamat: Az ionimplantáció olyan művelet, amelynek során a kívánt adalékatomokat felgyorsított ionokként bombázzuk az anyag, esetünkben a félvezető lapka felszíni, felszín-közeli rétegébe. Az ionforrás általában egy nagyfrekvenciás elektromos térrel keltett plazma, melyből a töltéseket az az anódra 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 fokkal. 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 engedelmessé válik az Arrhenius-törvényeknek.

A D diffúziós együttható csak a hőmérséklettől függ:

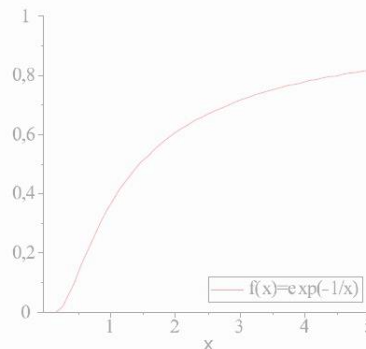
$$D = D_0 \exp\left(-\frac{H}{kT}\right)$$

H : aktivációs energia [J]

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

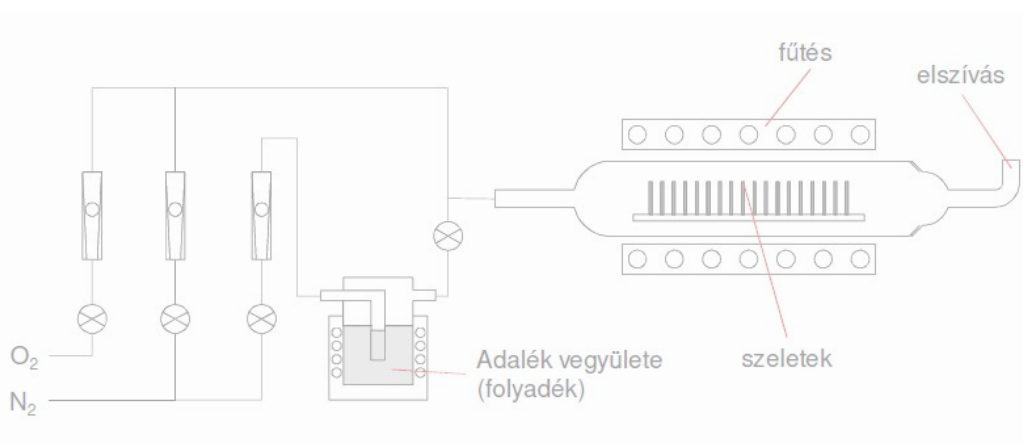
A függvény a végtelenben D_0 -hoz konvergál. Az x a H/k -ra normált hőmérséklet.

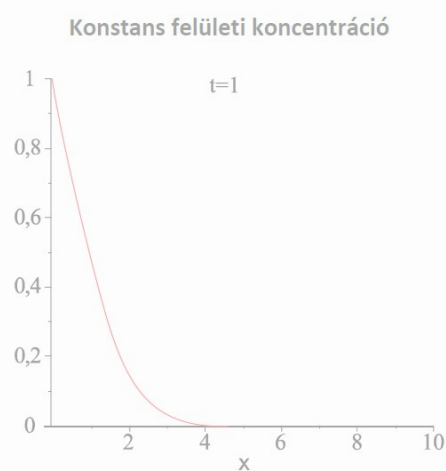
(az ábrán $D_0=1$)



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 reziszt réteg 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: reziszt felvitel előtt meg kell tisztítani a szeletet RCA eljárással; szerves szennyeződések, 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. Ezután maszkokkal alakítjuk ki 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.
- 4: -
- 5: -

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)

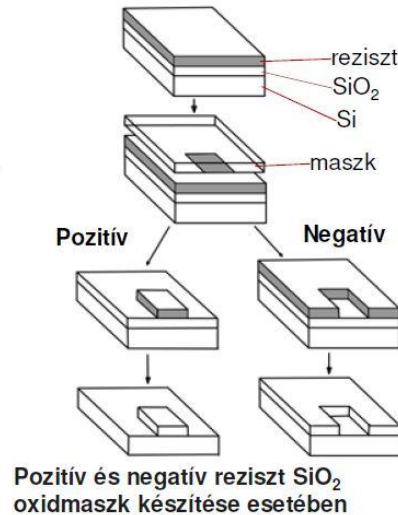
A folyadék halmazállapotú rezisztet felcseppentjük, és a szeletet a középpontján áthaladó tengely körül forgatjuk. (Fordulatszám: 1200-4800 1/min) Az eredmény: egyenletes, 0,5-2,5 μm vastagságú bevonat. Finomabb rajzolathoz vékonyabb reziszt szükséges. Előfűtés: Az oldószerek eltávoznak.

A pozitív és a negatív maszk értelmezése (1 pont)

Pozitív reziszt esetén a maszk és a réteg mintázata megegyezik. Negatív reziszt 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. A negatív működésű reziszt az exponáló sugárzás helyén oldhatatlanná válik.



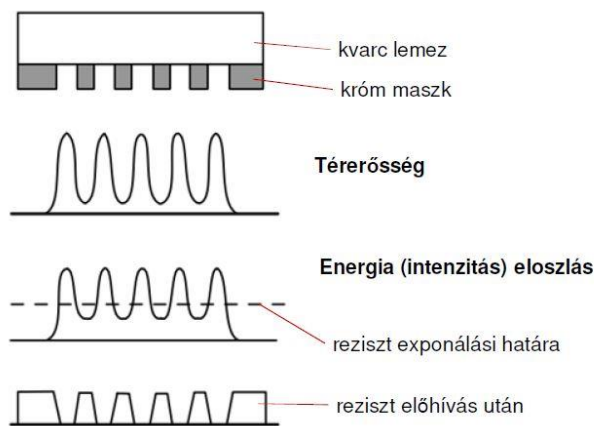
Mutassa be a rajzolatkialakítás során használt maszkok különböző fajtáit! (hagyományos és fázistoló maszkok).

A maszkok alkalmazásának jelentősége (1 pont)

A reziszt valamilyen sugárral történő megvilágítása során maszkot használunk „árnyékolónak”, hogy a sugarak csak a rezisztet ériék.

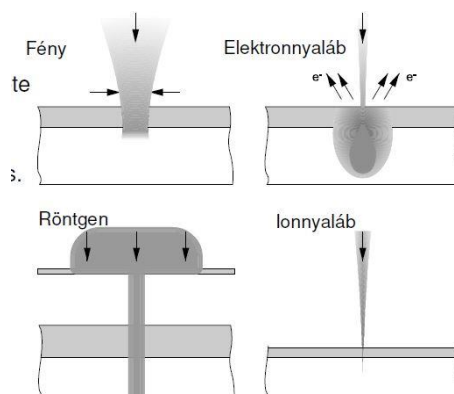
A hagyományos (2 pont)

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.



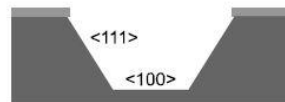
Ismertesse a litográfiában használt előhívási eljárásokat! Röviden ismertesse ezek főbb tulajdonságait!

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)

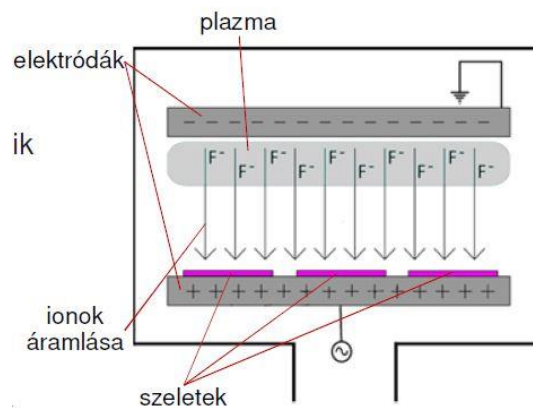


Anizotróp maratáshoz
 KOH (kálium-hidroxid)



A plazma marás (1 pont)

Plazma marás: gerjesztéssel plazmát állítanak elő, amelyben ionok vannak. Ezek a megfelelő potenciálon lévő hordozó felé gyorsulnak, elérik a felszínét, így fejtik ki maró hatásukat.



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

Reaktív ionmarás: 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

$$(\vec{h}_1 \vec{k}_1 \vec{l}_1) \perp [\vec{h}_1 \vec{k}_1 \vec{l}_1] \text{ és } (\vec{h}_2 \vec{k}_2 \vec{l}_2) \perp [\vec{h}_2 \vec{k}_2 \vec{l}_2],$$

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 esetünkben 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!

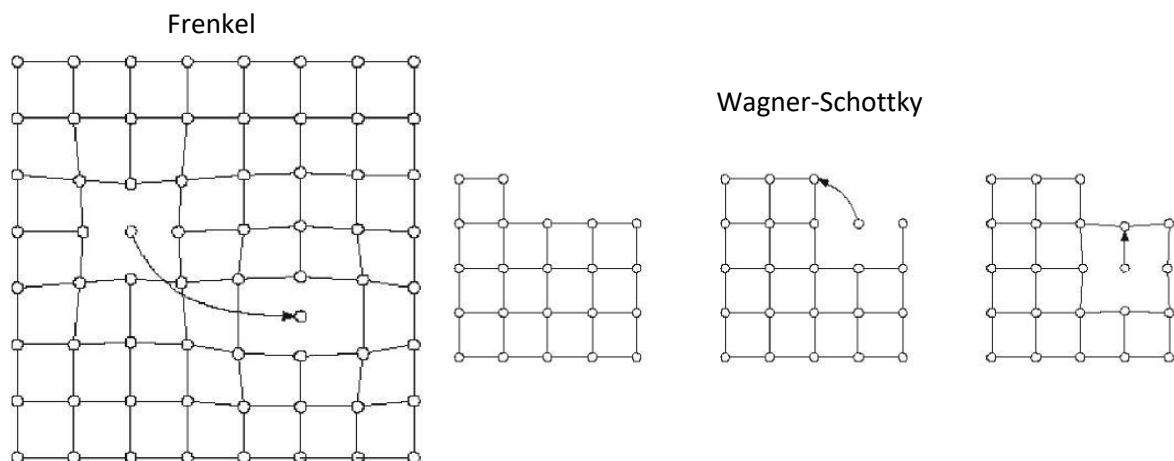
Fejtse ki szerepüket az ötvözetekben!

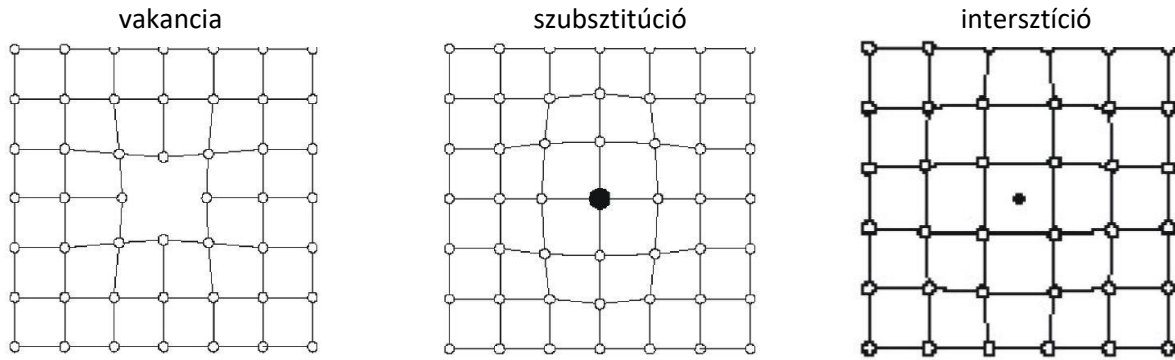
A pontszerű hibák 0 dimenziósak. Létező típusai a vakancia, szubsztitúciós atom és az interstíciós atom. Eltűnési mechanizmusok: A vakancia egy atom hiánya a rácsból. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így a vakancia környezetében rácstorzulás lép fel.

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 interstíciós atom egy idegen atom a rácspontok között. A körülötte lévő atomokra ható vonzó és taszító erők megváltoznak, így az interstíciós atom környezetében rácstorzulás lép fel.

Frenkel mechanizmus esetén nagy energiaközlés, pl. részecske-besugárzás hatására egy rácspont elhagyja a helyét, és interstíciós helyzetbe kerül (saját interstíciós 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 pontszerű hibák: szilárd oldatokban [alapfém (A) + oldott atom (B)] szubsztitúció és interstíciós atom is kialakulhat, de egy teljesen új (A+B) második fázis is keletkezhet. Második fázisban a részecske szerkezete és összetétele eltér az addigiaktól.

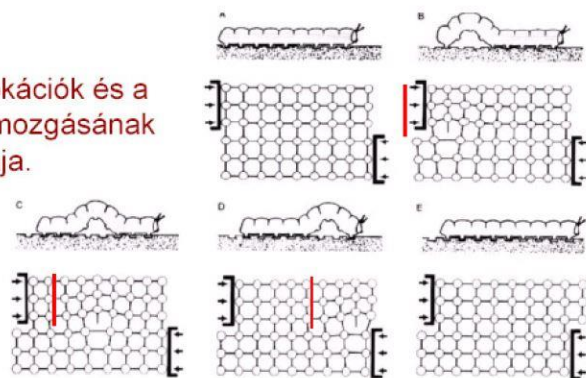




Ismertesse a vonalszerű rácshibákat! Ismertesse szerepüket a képlékeny alakváltozás során!

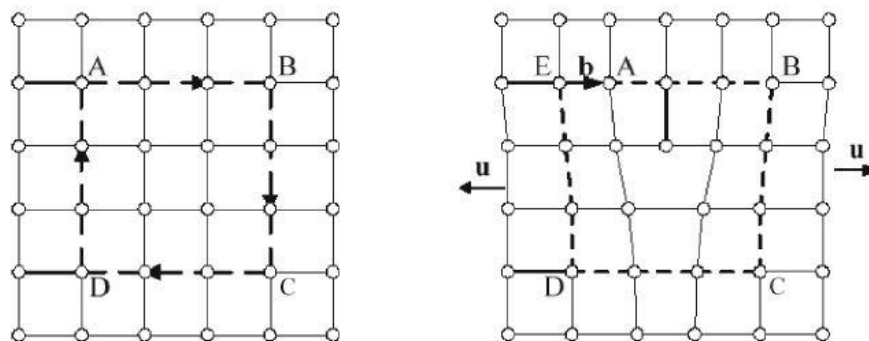
A vonalszerű hibák 1 dimenziósak. A diszlokációelmélet szerint az alakváltozás nem egy lépésben történik, hanem a diszlokációk mozognak. A képlékeny alakváltozás során a kristálysíkok nem egy lépésben csúsznak el egymáson, hanem folyamatos mozgással, azaz lesznek olyan tartományok, ahol az elcsúszás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

A diszlokációk és a hernyó mozgásának analógiája.



A képlékeny alakváltozás során a vonalszerű hibák mozgásával hernyó-analógiát lehet állítani.

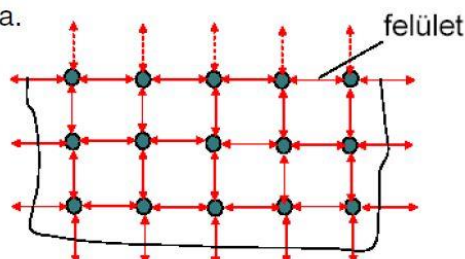
Burgers-kör: Ha egy ép kristályban egy rácspontból kiindulva azonos rácspontnyi lépést teszünk meg jobbra, lefelé, balra, majd felfelé, akkor visszajutunk a kiindulópontba. Ha a kristály diszlokációt tartalmaz, akkor a kezdő- és végpont nem lesz ugyanaz. Az őket összekötő vektor a Burgers-vektor.



Ismertesse a felületszerű rácshibákat!

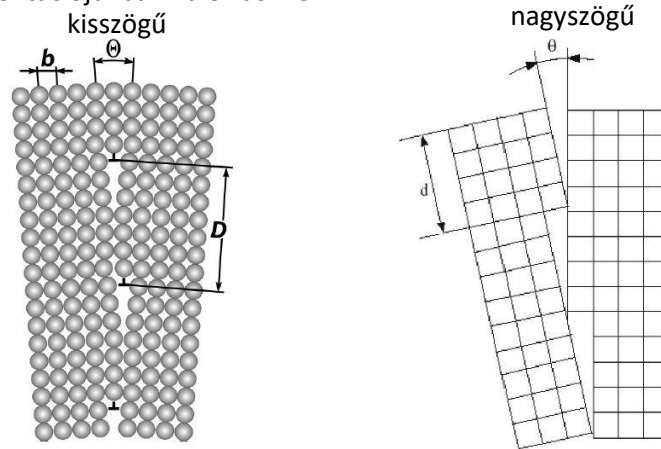
A felületszerű hibák 2 dimenziósak. Típusai: makroszkópikus felület, kisszögű szemcsehatár, nagyszögű szemcsehatár, fázishatár, ikerhatár és rétegződési hiba.

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.

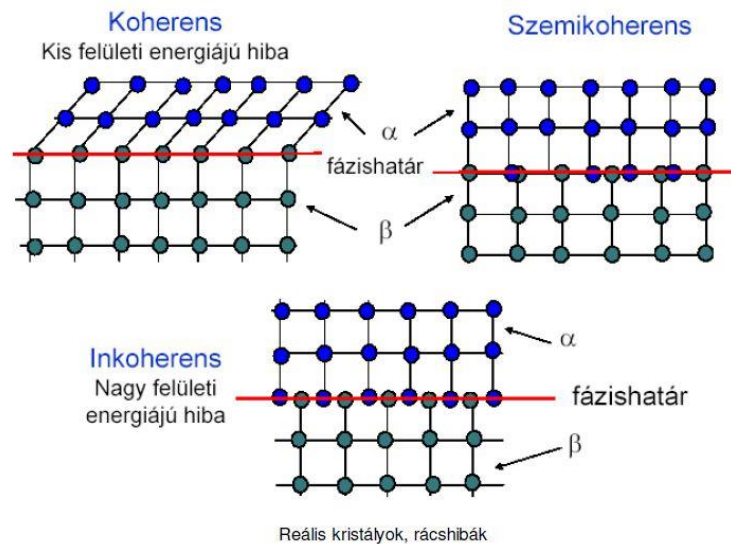


Kisszögű szemcsehatár: Azonos előjelű diszlokációk egymás alá rendeződése A kisszögű szemcsehatár által elválasztott tartományok orientációja közötti szögműködés: $Q < 5^\circ$.

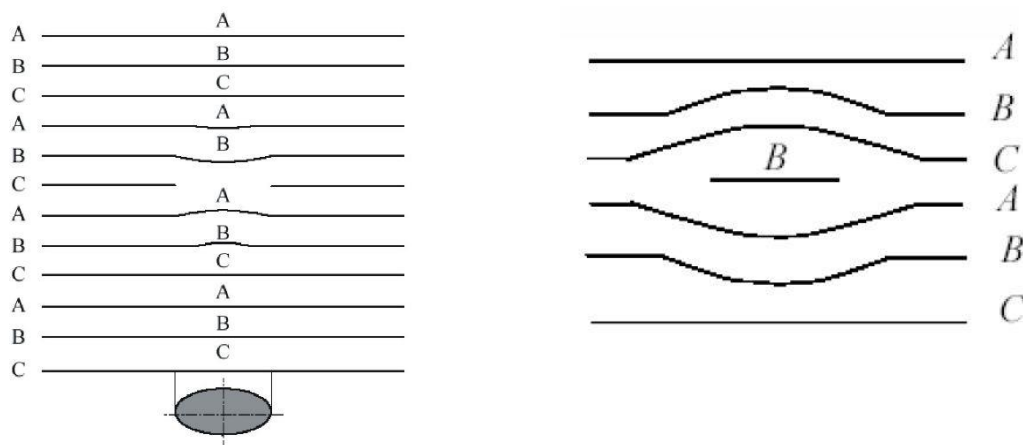
Nagszögű szemcsehatár: A dermedés során véletlen orientációjú kristálycsírák összenőnek. Az egyes szemcsék csak orientációjukban különböznek.



Fázishatár:



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.

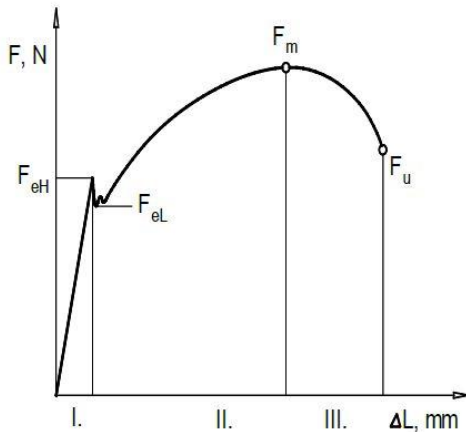


G-02 - FÉMEK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI, MECHANIKAI VIZSGÁLATOK

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 igénybevételrel 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

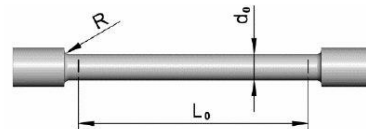
A diagram az alábbi szakaszokra bontható:

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

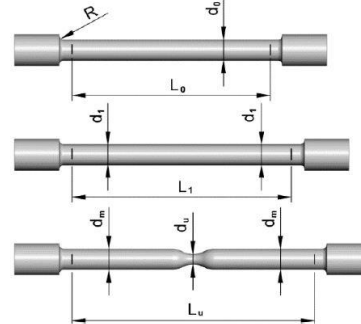
II. Egyenletes alakváltozás: A képlékeny deformáció a mérőhossz minden pontján azonos mértékű

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 (S_0) vonatkoztatja. Valódi rendszerben a feszültségeket az aktuális erőből és az aktuális teherviselő keresztmetszetből (S) számítják.