

Elektronikai technológia és anyagismeret

1.ZH mintakérdések kidolgozása

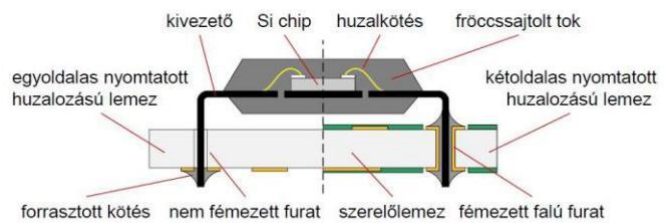
Alkatrészek

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

1. Mutassa be a furatszerelt alkatrészeket rajzokkal és leírással!

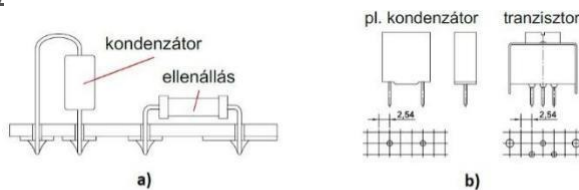
Furatszerelt alkatrészek definíciója (1 pont)

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

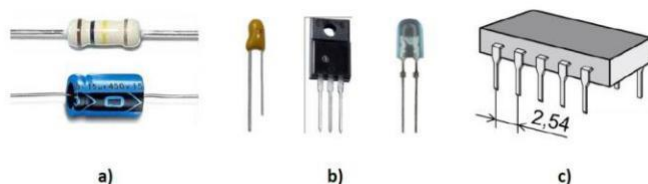
A furatszerelt alkatrészeket többféleképpen osztályozhatjuk. A kivezetések mechanikai tulajdonsága alapján például kétféle csoportot lehet alkotni. A **hajlékony kivezetéseket a furatokhoz lehet hajlítani**. A **merev (másképpen „fix”) kivezetésű** alkatrészekhez egy

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 pozícionálni.

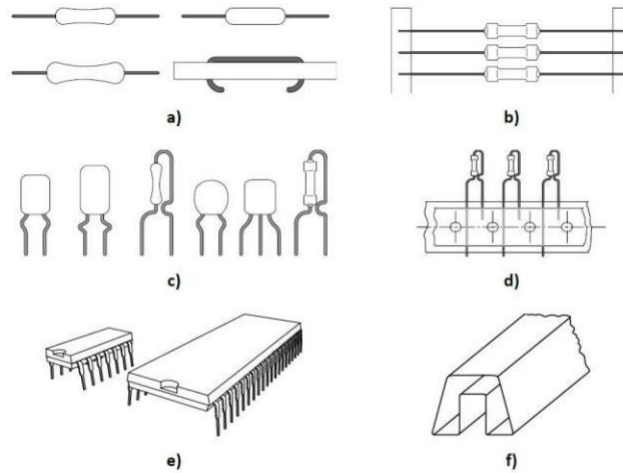


1.3. ábra. Furatszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése alapján: a) axiális kivezetésű; b) radiális kivezetésű; c) kerületi menti kivezetőkkel rendelkező alkatrész

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.



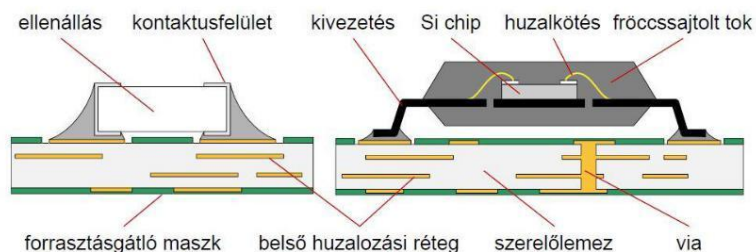
1.10. ábra. Furatszerelt alkatrészek kivezetések szerinti csomagolása: a) axiális kivezetésű alkatrészek; b) kétoldalas hevederezés; c) radiális kivezetésű alkatrészek; d) egyoldalas hevederezés; e) integrált áramkörök; f) műanyag csőtár

2. 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 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.



1.11. ábra. Tipikus felületszerelt alkatrészek

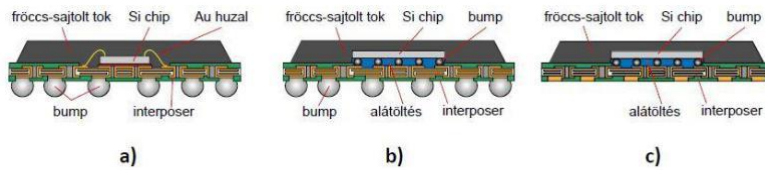
felületszerelt alkatrészek csoportosítása a kivezetések geometriája, elrendezése szerint (1p)

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, 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**



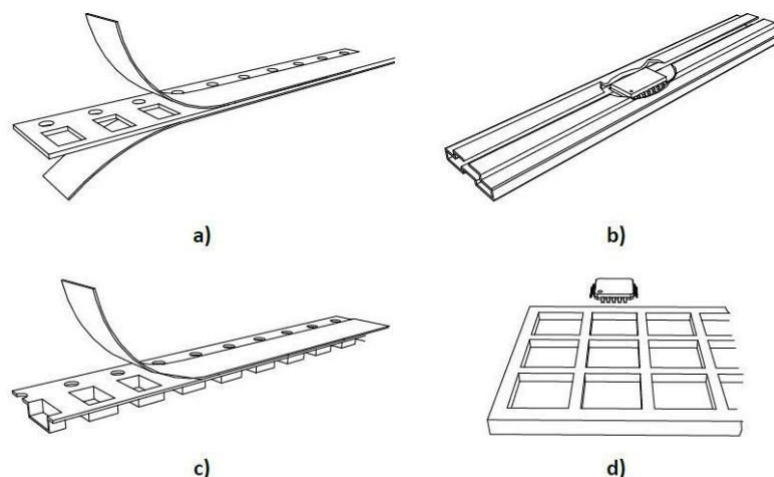
1.14. ábra. Rácselrendezésű kivezetőkkel rendelkező felületszerelt alkatrészek:
a) BGA; b) FC-BGA; c) LGA tokozású alkatrészek

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 megjelent BGA tokozású alkatrészekben az **első szintű összeköttetést (chip ↔ chiptartó hordozó [itt: interposer]) mikrohuzalokkal** 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 tartalmazznak kivezetőket** a tok alján, de bumpok híján **szimpla kontaktusfelületeket tartalmazznak**. 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).

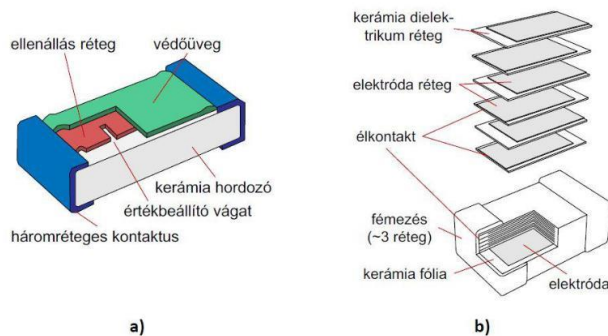


1.17. ábra. Felületszerelt alkatrészek kivezetések szerinti csomagolása: a) papír szalagtár (pl. SMD ellenállások); b) Műanyag csőtár (pl. SOIC); c) műanyag szalagtár (pl. SMD kondenzátorok); d) műanyag tálcátár (pl. BGA, QFN, QFP)

3. 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 **elektroda** (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 $120 \cdot 0,0254 = 3,05 \text{ mm}$ valamint $60 \cdot 0,0254 = 1,52 \text{ mm}$. Ez az átszámítás 0402-es méretkódig érvényes.

1.1. táblázat. Chipméretű passzív SMD alkatrészek méretkódjai

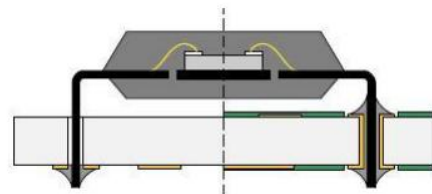
Méretkód	Méret, mm
1206	3,05 x 1,52
0805	2,03 x 1,27
0603	1,52 x 0,76
0402	1,02 x 0,51
0201	0,6 x 0,3
01005	0,4 x 0,2

1-02 FURAT- ÉS FELÜLETSZERELT ALKATRÉSZEK SZERELÉSE- FORRASZTÁSA HULLÁMFORRASZTÁSSAL

4. Hasonlítsa össze a furat- és a felületszerelési technológiát!

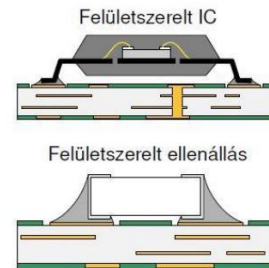
Furatszerelési technológia jellemzői (1 pont), sematikus ábra egy beforrasztott furatszerelt alkatrészeiről (1 pont):

A THT (Through Hole Technology), azaz furatszerelési technológia során az alkatrészek kivezetéseit a szerelőlemez furataiba illesztik, és többnyire a másik oldalról forrasztják be. Ez a technológia a szerelőlemez mindegyik oldalát igénybe veszi, az alkatrészek helyfoglalása nagy és nagy kivezetőszál esetén a beültetés gépesítése nehéz.



Felületi szereléstechológia jellemzői (1 pont), sematikus ábra egy beforrasztott felületszerelt alkatrészről (1 pont):

A felületi, azaz SMT (Surface Mounted Technology) alkatrészeit a szerelőlemez felületén, az alkatrészeket kötött elrendezésű footprinteknek megfelelően kialakított felületi vezetékmezőre (forrasztási felületek, „padek”) ültetik rá, és ezen az oldalon is forrasztják be.



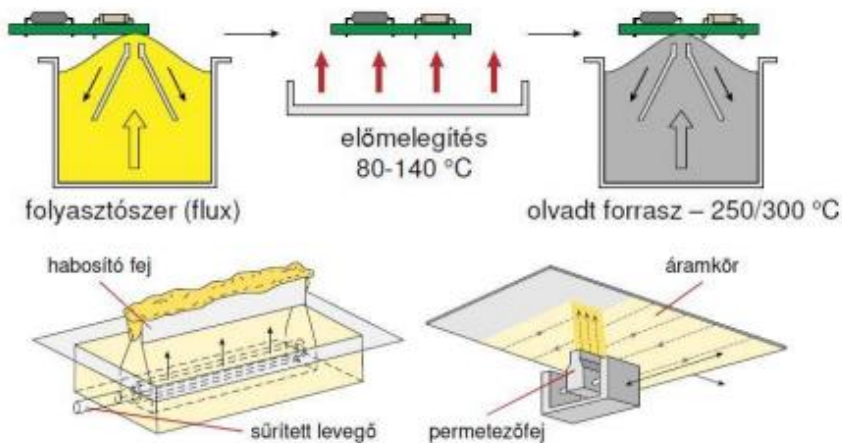
Jellemzői kötési műveletek a furat- ill. felületszerelt alkatrészek rögzítésére (1 pont):

A furatszerelési technológia bekötési műveletei a kézi forrasztás és a hullámforrasztás. Felületszerelési technológia esetében ez leginkább forrasztás vagy ritkábban vezető ragasztás.

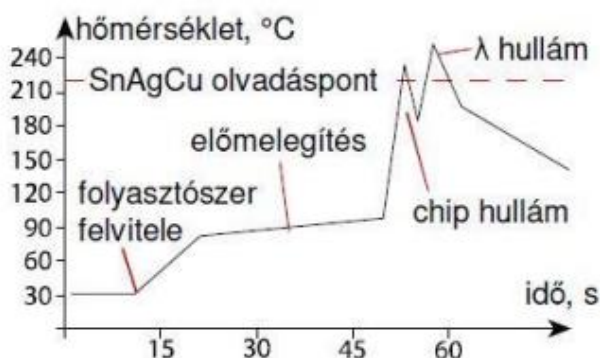
5. Ismertesse a hullámforrasztási technológiát furatszerelt alkatrészek esetére! Hullámforrasztási technológia lépéseinek részletezése – folyasztószer felviteli technikák, előmelegítés célja, előmelegítési technikák – (2 pont):

A hullámforrasztás a furatszerelt alkatrészek leggyakrabban alkalmazott forrasztási módja. Gépesített eljárás során a forrasztanyagot és a hőt egyaránt hullám biztosítja. A lemezt szállítószalag vontatja át a hullámforrasztón. A technológia során először kézzel/géppel beültetik az alkatrészeket, majd habosítással – ez egyszerű, de a habzás intenzitása térben erősen változhat - vagy permezetezéssel pontosabb mennyiség érhető el vele, de érzékeny a folyasztószer sűrűségváltozására - felviszik a folyasztószert. Az infraszugaras (jó hatásfok, de az eltérő anyagok eltérő mennyiségben melegednek) vagy kényszerkonvekciós (egyenletesebb melegítés, de rosszabb hatásfok) előmelegítés után omega vagy kettős hullám alkalmazásával történik meg a forrasztás. Az előmelegítés célja a korábban felvitt folyasztószer aktiválása, és az áramkör előmelegítése, hogy az ne kapjon hősokkot a hullámforrasztásnál. A hullámforrasztás chip- vagy lambdahullámmal történhet.

A technológia lépéseiről sematikus ábrák (2 pont):



A hullámforrasztási technológia hőprofilja ólmos vagy ólommentes ötvözet esetére (1 pont):

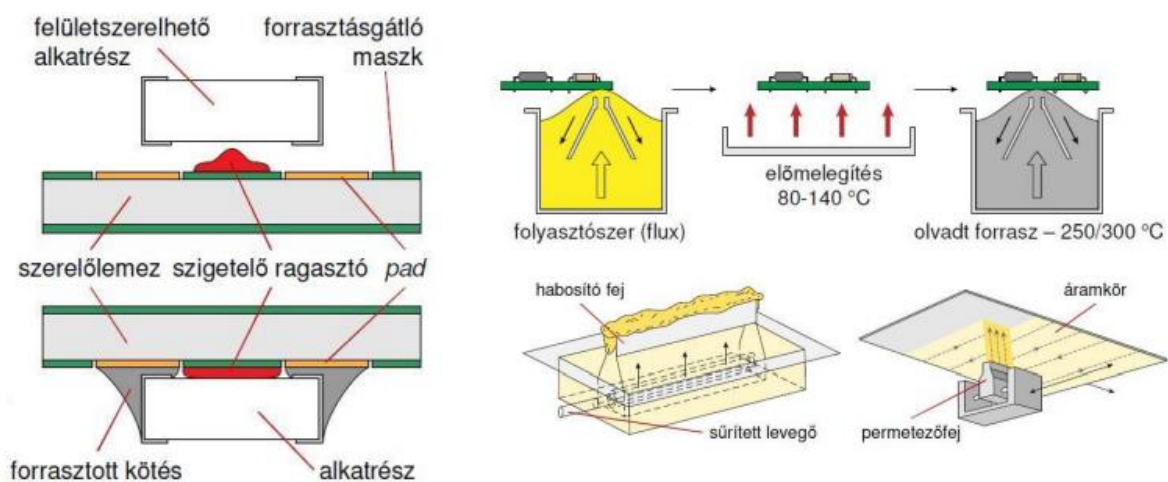


6. Ismertesse a hullámforrasztási technológiát felületszerelt alkatrészek esetére!

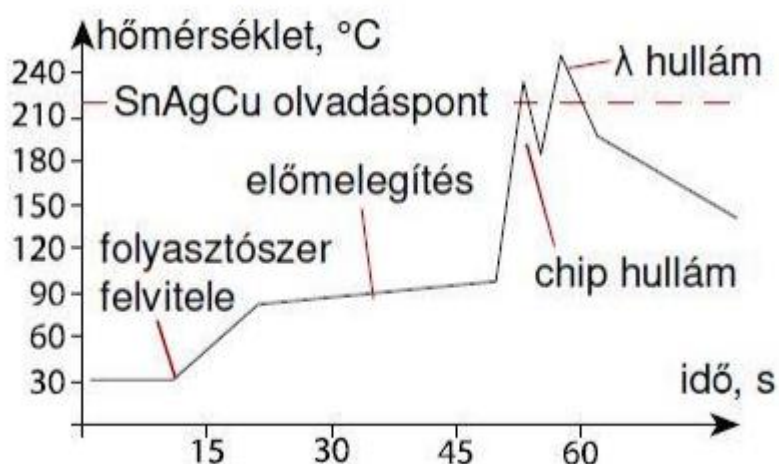
Hullámforrasztási technológia lépéseinek részletezése – ragasztófelviteli technikák, folyasztószer felviteli technikák, előmelegítés célja, előmelegítési technikák – (2 pont):

A felületszerelt alkatrészek is forraszthatók hullámforrasztással, de bizonyos lépéseket meg kell tenni a technológia alkalmazása előtt. Az alkatrészeket szigetelő ragasztóval rögzíteni kell a szerelőlemezre, majd a mechanikai rögzítés létrehozása érdekében 150°C-on térhálósítani kell a ragasztót. Ezután a szerelőlemez megfordítása következik, a következő lépések pedig megegyeznek a furatszerelt alkatrészeknél megismert technológiáival. A lemezt szállítószalag vonnatja át a hullámforrasztón. A technológia során először kézzel/géppel beültetik az alkatrészeket, majd habosítással – ez egyszerű, de a habzás intenzitása térben erősen változhat - vagy permezetezéssel – pontosabb mennyiség érhető el vele, de érzékeny a folyasztószer sűrűségváltozására - felviszik a folyasztószert. Az infrasugaras (jó hatások, de az eltérő anyagok eltérő mennyiségben melegednek) vagy kényszerkonvekciós (egyenletesebb melegítés, de rosszabb hatások) előmelegítés után omega vagy kettős hullám alkalmazásával történik meg a forrasztás. Az előmelegítés célja a korábban felvitt folyasztószer aktiválása, és az áramkör előmelegítése, hogy az ne kapjon hő sokkot a hullámforrasztásnál. A hullámforrasztás chip- vagy lambdahullámmal történhet

A technológia lépéseiről sematikus ábrák (2 pont):



A hullámforrasztási technológia hőprofilja ólmos vagy ólommentes ötvözet esetére (1 pont):



Félvezető anyagok jellemzői

2-02_SI_ANYAGOK_TULAJDONSÁGOK

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

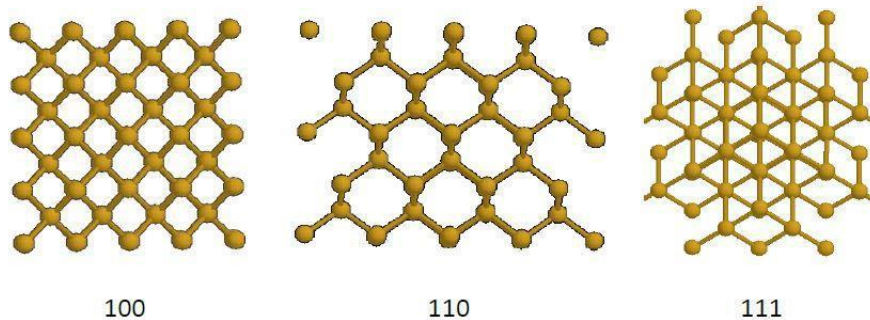
Az anizotrópia fogalmának ismertetése (1 pont):

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

A félvezető egykristályok szerkezetének bemutatása, példa a különböző rácsokra (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 térátló negyedével**. 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 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)

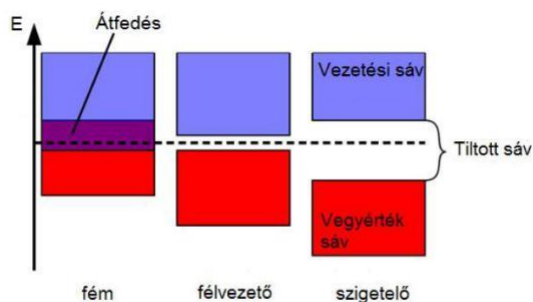
MEMS (110)

bipoláris (111)

15. 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):

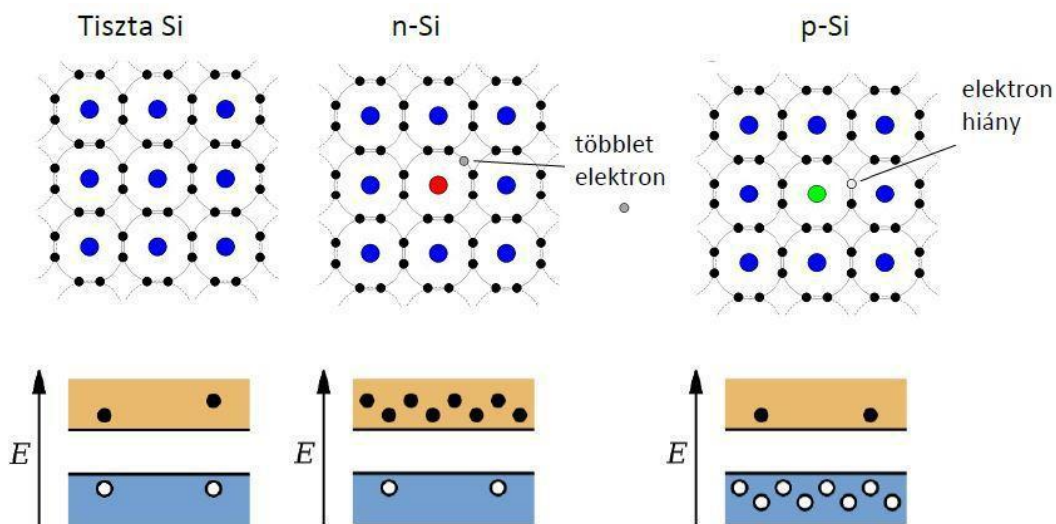
Egy **direkt tiltott sávot** átlépő elektronnal **csak a tiltott sávnak megfelelő energiát** kell közölni, hogy az átmenet lehetségessé váljon. Ezzel szemben az **indirekt tiltott sávú** anyagokban a **két sávél között** nem csupán **energiában**, de **hullámszámban is különbség van**, így az átmenethez 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 (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**).

16. 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 p típusú adalékolás esetén.

17. 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 Ausztrália 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

18. Mutassa be a polikristályos szilícium előállításának lépéseit.

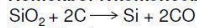
A polikristályos Si definíciója és a poli-Si jelentőségének ismertetése az egykristály növesztés szempontjából (2 pont):

Polikristályos Si, tehát **több Si (egy)kristályszemcséből** épül fel. A polikristályos Si rudat megolvasztják, ebből az olvadékból húznak Si egykristályt. Ez a poli-Si elektromos árammal izzított szilíciumpálcára válik ki a készítési folyamat végén, majd ezt olvasztják húzásra.

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

Az Si egykristály-gyártás **alapanyaga a kvarchomok**, melyet nagy tisztaságban Auszália partjainál bányásznak. A kvarchomokból **ívkemencében 1500...2000°C közötti hőmérsékleten** szénnel 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, ebből **választják le CVD eljárással az Si-t**. A folyamat következő lépése a **polikristályos Si-rúd** előállítása. A reakcióban képződő szilícium egy csőreaktorban elhelyezett, elektromos árammal izzított **szilíciumpálcára** folyamatosan válik le a gőzfázisból. A tiszta olvadékot ebből a pálcából készítik.

1. Homokból ívkemencében magas hőmérsékleten nyers Si



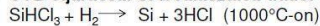
Ez a Si még szennyezett.

2. Nyers Si reagáltatása sósavval



A triklór-szilán gáz, könnyen desztillálható.

3. CVD eljárással Si leválasztása triklór-szilánból



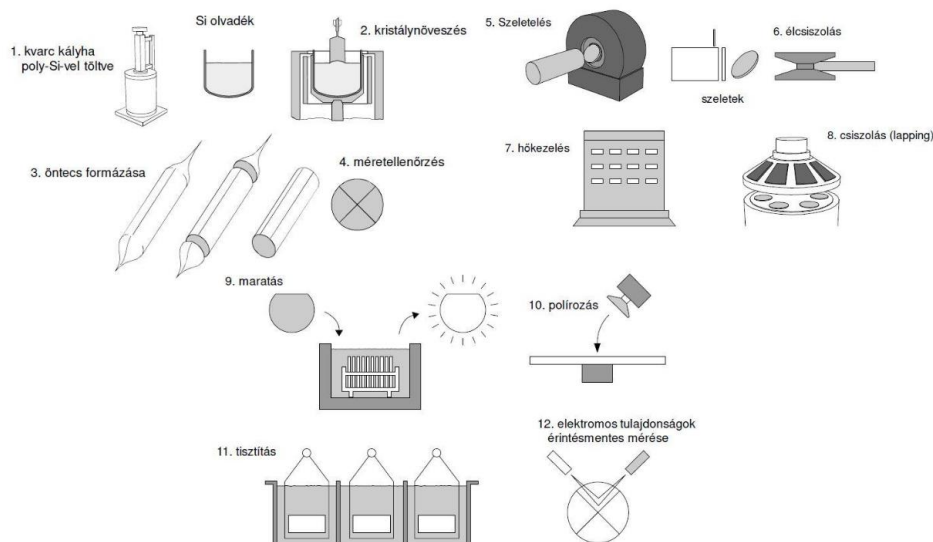
Az utolsó lépésben keletkezett Si gőzfázisból válik ki egy pálcára (szintén Si).

A tiszta olvadékot ebből a pálcából készítik.

19. 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 az Si egykristály. 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 **többszintű 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 térítő 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.

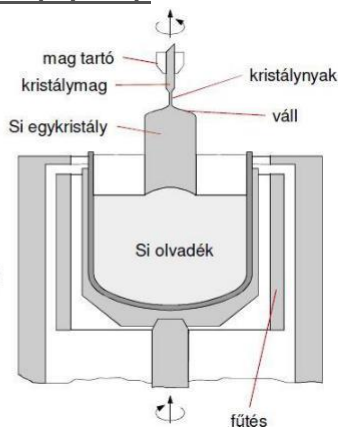
A flat szerepének és kialakításának ismertetése (1 pont):

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

20. 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):

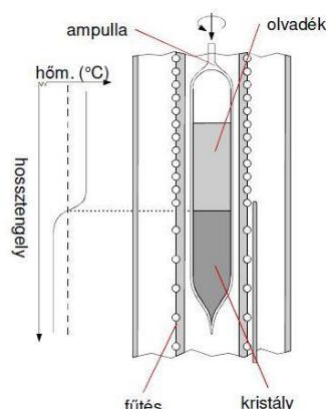
A fém **szilícium olvadáspontja 1414-15 Celsius fok**. A hőmérsékletprofil az **egykristály húzás sebességével** (ált. $\leq 1\text{mm/min}$), a beoltókristály, ill. kristályrúd és a tégelyes CZ-eljárásnál a tégely **forgatásával** (~ 20 fordulat /min) szabályozható.

21. Magyarozó 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 húzzunk végig egy csökkenő hőmérsékletű zónán.
- Si esetében kevésbé használatos.



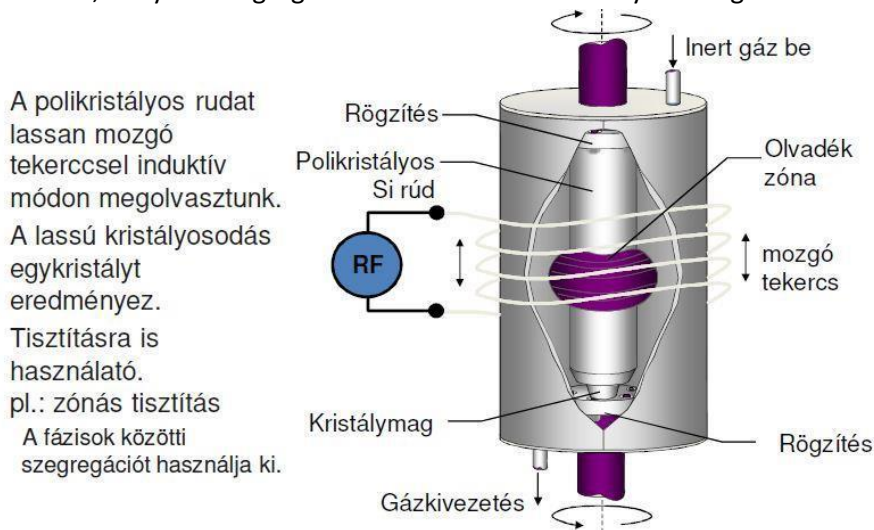
A legfontosabb folyamatparaméterek kihangsúlyozása (1 pont):

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

22. 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 tekercssel induktív gerjesztésű módon olvadásig hevítik**. A tekercs rúd mentén történő **mozgatásával** az olvadt fázishatárán az **újrakristályosodást** követően egykristály alakul ki, melynek szegregáció miatt az olvadék szennyezettségétől **alacsonyabb**.



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. A tekercs **gerjesztése nagyfrekvenciás**.

2-04_EPITAXIA_IMPLANT_DIFF_CVD

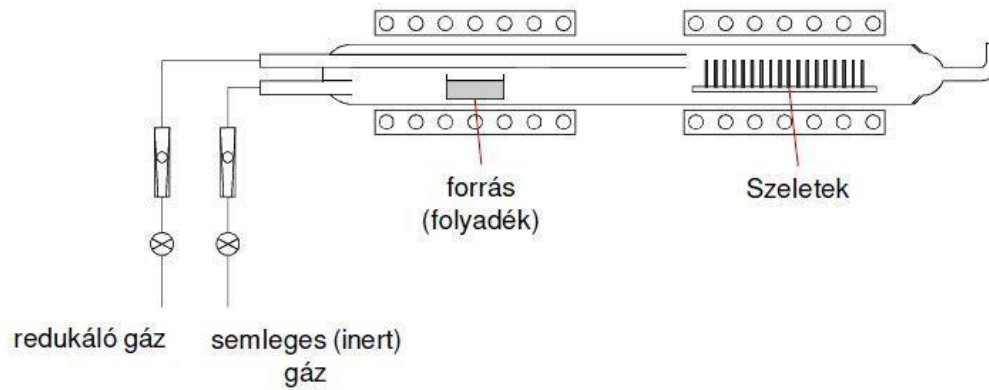
Rétegleválasztás: olyan eljárás, mely során a **hordozóra (szubsztrátra)** nagy felületű, de laterális méretéhez viszonyítva nagyságrendekkel kisebb vastagságú, egyenletes réteget viszünk fel.

23. 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** zóna és szilárd rúd **szennyezettsége** a

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 fémek, chipen belüli **vezetékezés** (modern) anyaga)

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

SiO₂: kapuelektroda esetében használt **dielektrikum**

Si₃N₄: **szigetelőréteg** PECVD-vel

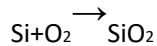
polikristályos szilícium: kapuelektroda

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

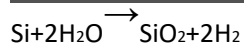
Az oxidnövesztés jelentőségének ismertetése (1 pont):

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:

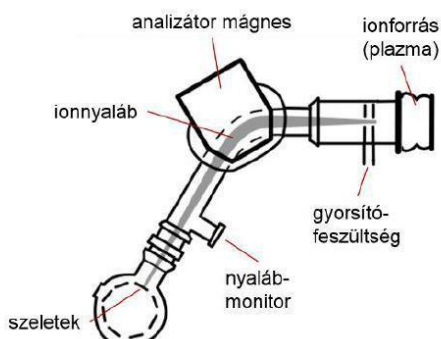


ezen technológiák berendezései az előadáson (legalábbis a diákon) nem voltak, és a folyamatok ismertetéséről sem volt szó

25. Ismertesse a félvezető alapanyagok ionimplantációval történő adalékolásának alapjait.

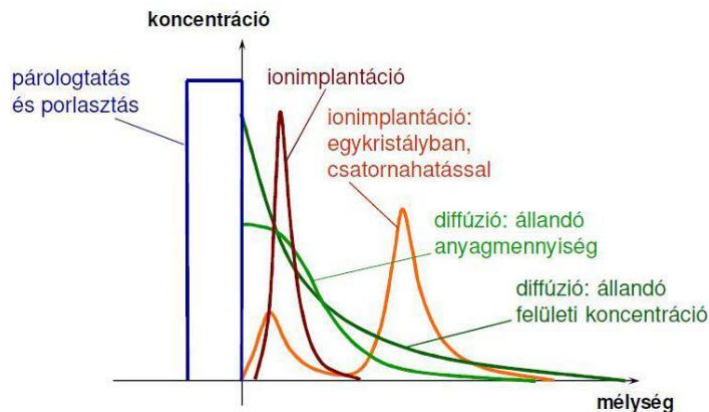
Folyamat: Az **ionimplantáció** olyan művelet, amelynek során a kívánt **adalékatomokat felgyorsított ionokként bombázzuk** az anyag, esetünkben a félvezető lapka felszíni, felszín-közeli rétegébe. Az ionforrás általában egy nagyfrekvenciás elektromos térrel keltett plazma, melyből a töltéseket az az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

2-05_IC_LITOGRAFIA

26. 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, 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 a minta alakjára**.
- 4: A **maratás** során a mintázandó anyagot száraz vagy nedves maratása történik, kialakul a **rajzolat**.
- 5: Végül le kell **oldani a maradék rezisztet**.

27. 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):

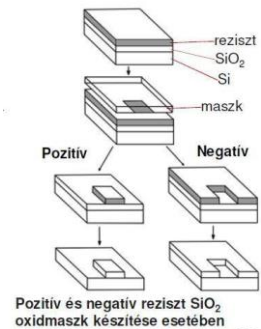
A **folyadék halmazállapotú rezisztet** felcseppentjük, és a szeletet a középpontján áthaladó tengely körül **forгатjuk**. (Fordulatszám: **1200-4800 1/min**) Az eredmény: egyenletes, **0,5-2,5 μm** vastagságú bevonat. Finomabb rajzolatához vékonyabb reziszt szükséges. **Előfűtés:** Az oldószerek eltávoznak.

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.



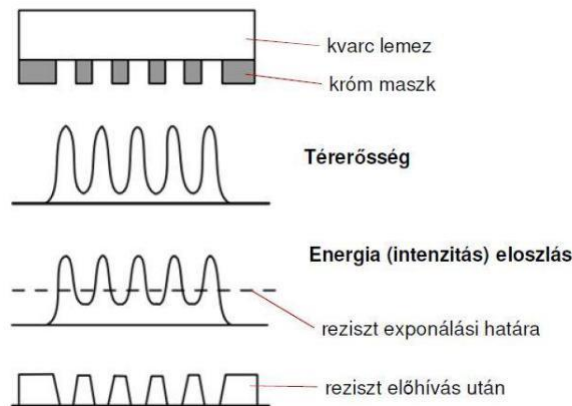
28. Mutassa be a rajzolat kialakítás során használt maszkok különböző fajtáit! (hagyományos és fázistoló maszkok).

A maszkok alkalmazásának jelentősége (1 pont):

A reziszt valamilyen sugárral történő megvilágítása során maszkot használunk „**árnyékolónak**”, hogy a **reziszt megfelelő mintázatban** alakuljon ki, azaz a mintázandó helyre ne kerüljön belőle.

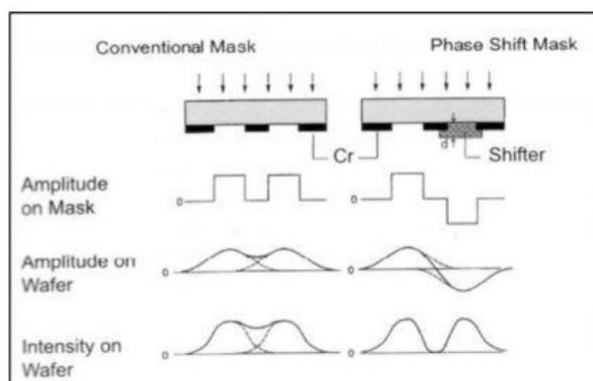
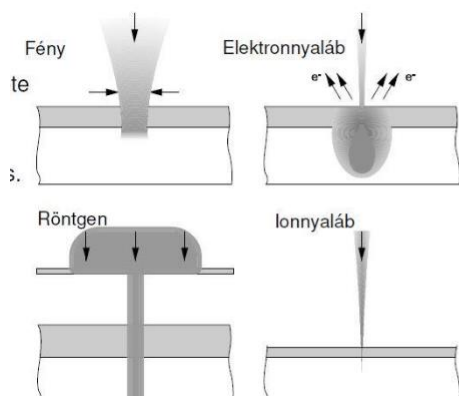
A hagyományos (2 pont):

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.**



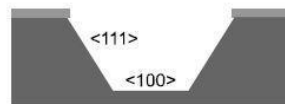
Ismertesse a litográfiában használt előhívási eljárásokat! Röviden ismertesse ezek főbb tulajdonságait!

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)

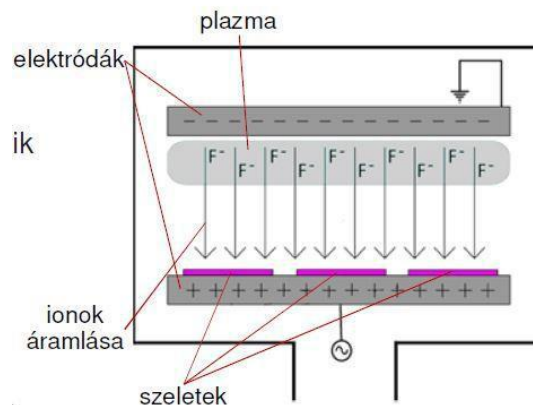


Anizotróp maratáshoz
 KOH (kálium-hidroxid)



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**.