

II. Vékonyréteg áramkörök rétegfelviteli és ábrakialakítási technológiája

A mérés célja: a vákuumtechnika, vékonyrétegfelviteli és ábrakialakítási módszerek megismerése.

A mérési feladat: vékonyréteg ellenállás hálózat kialakítása kontaktusfelületek párologtatásával és fotolitográfiával. Az elkészült ellenállások bemérése.

A mérés elvégzésével megszerezhető képességek: vákuumpárologtató berendezés felépítésének és működtetésének, a fotolitográfia gyakorlati alkalmazásának valamint a vegyszerek kezelésének megismerése.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid meghatározása

Vékonyréteg: vákuumeljárással (párologtatással vagy porlasztással) általában üveg, szilícium, kerámia, fém vagy akár műanyag hordozóra felvitt tipikusan 5-3000 nm közötti vastagságú réteg. Az előző technológiai jellegű definíció mellett elfogadott az a megközelítés is, hogy vékonyrétegeknek azokat a rétegeket nevezzük, melyek valamely (elektromos, optikai, mechanikai) tulajdonsága a tömbanyagtól éppen a réteg vastagsága (vékonysága) miatt tér el.

Vékonyrétegek alkalmazási területei:

- hibrid vékonyréteg integrált áramkörökben vezeték- (Au, Cu), ellenállás- (NiCr, Ta) és dielektrikumréteggént (Al_2O_3 , SiO, SiO_2). Ezek nagy előnye, hogy az így előállított passzív integrált elemek tulajdonságai (pl. hőmérsékletfüggés) egyformák, így precíz mérőáramkörökben is alkalmazhatók.
- diszkrét ellenállások tömeggyártásában ellenállásréteggént (NiCr), kondenzátoroknál fegyverzetréteggént (Al, Cu);
- monolit integrált áramkörökben (szilícium IC) a szeletek fémezésére (Al, újabban Cu)
- kijelzőkben átlátszó fémezés megvalósítása: LCD, elektrolumineszcens, plazma, CRT és egyéb kijelzőeszközök készítésekor (Al);
- optikai rétegekként: mivel a vékonyrétegek vastagsága a fény hullámhosszával azonos nagyságrendbe esik, ezért a rétegszerkezetekben az interferencia jelenségét kihasználva speciális tükröző, szűrő, antireflexiós rétegek állíthatók elő (MgF, ZnS, SiO_2 , TiO_2);
- dekoratív és kopásálló védőbevonatként (TiN, TiC, WC, SiO_2)

Vákuum: a normál légkörinél (10^5 Pa) alacsonyabb nyomást vákuumnak nevezzük. A vékonyrétegek felvitele nagy vagy ultra nagyvákuumban történik, melynek értéke, az eljárás módjától és a tisztasági követelményektől függően, 10^{-3} - 10^{-10} Pa közötti. A nyomás csökkenésével a térfogategységre eső részecske szám csökken, melynek következménye az átlagos szabad úthossz (a részecskék által két ütközés között átlagosan megtett távolság) és az épülő réteg tisztaságának növekedése. Az átlagos szabad úthossz a párologtatás során legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint a forrás-hordozó távolság, így a gőzatomok ütközés nélkül, egyenes vonalú mozgással jutnak el a forrástól a hordozóra illetve a vákuumtér többi pontjára.

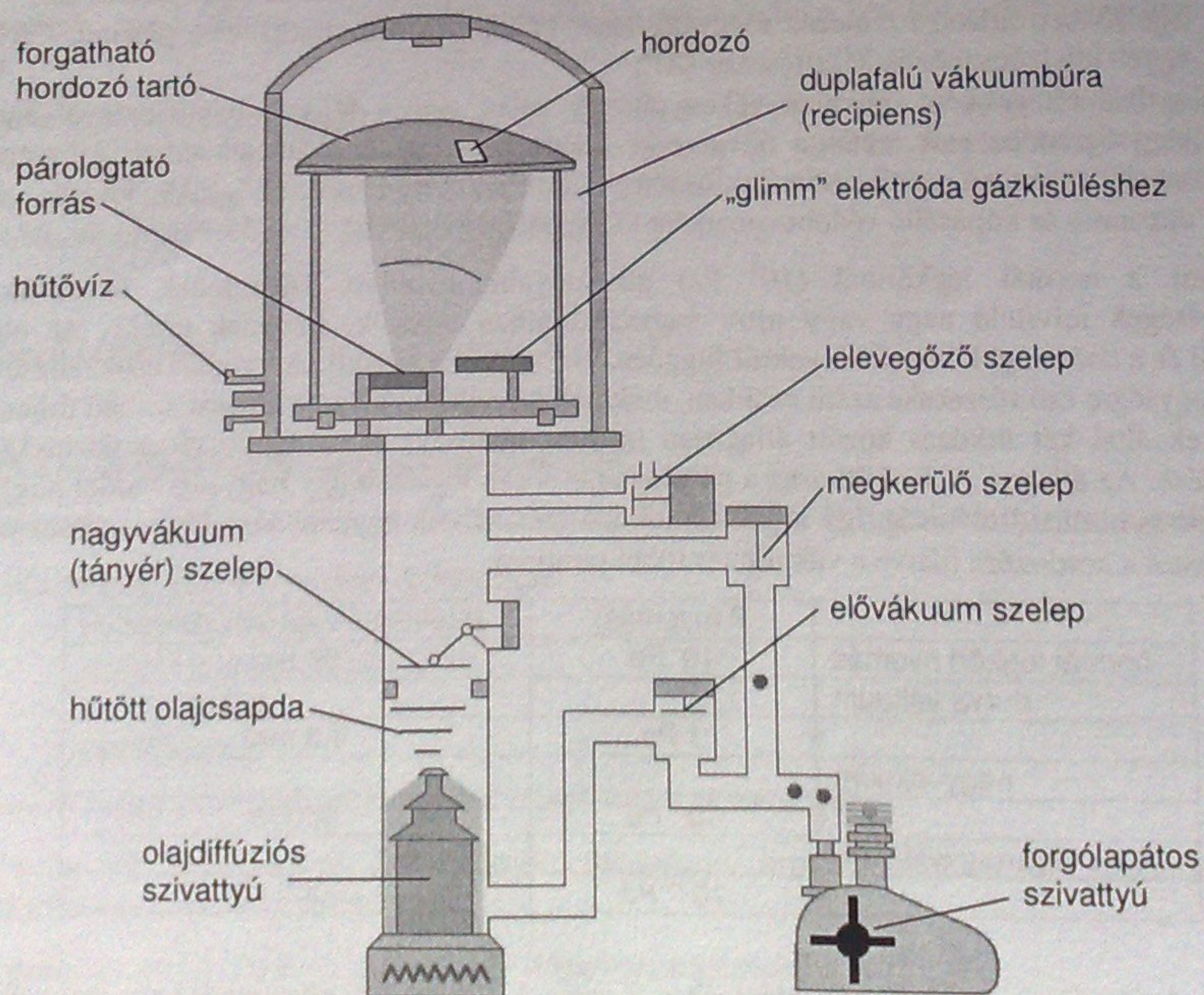
	P (nyomás)	L (átlagos szabad úthossz)
normál légköri nyomás	10^5 Pa	53 nm
durva vákuum		
	↓	
	1 Pa	5,3 mm
nagyvákuum		
	↓	
	10^{-5} Pa	530 m
ultranagyvákuum		
	↓	
	10^{-10} Pa	53000 km

Vákuumszivattyúk: a nagyvákuum eléréséhez 2 vagy 3 lépcsős szivattyúrendszerre van szükség. Elővákuumszivattyúnak többnyire forgólapátos (rotációs) szivattyút alkalmaznak, mely a térfogatleválasztás elvén működve 1 Pa körüli vákuum előállítására képes. Az excentrikusan elhelyezett forgólapátok és a szivattyúház által közrezárt térrészek térfogata a forgás során folyamatosan változik. Az első félfordulatban a vákuumtérre kapcsolt térfogatrészt a benne lévő

gázmolekulákkal együtt a következő félfordulat során a vákuumtérről leválasztja, komprimálja és a visszacsapó szelepen keresztül a szabadba nyomja. A jobb hatásfok elérése érdekében két forgólapátkereket egymással sorba kötve és ellenfázisban működtetve használnak.

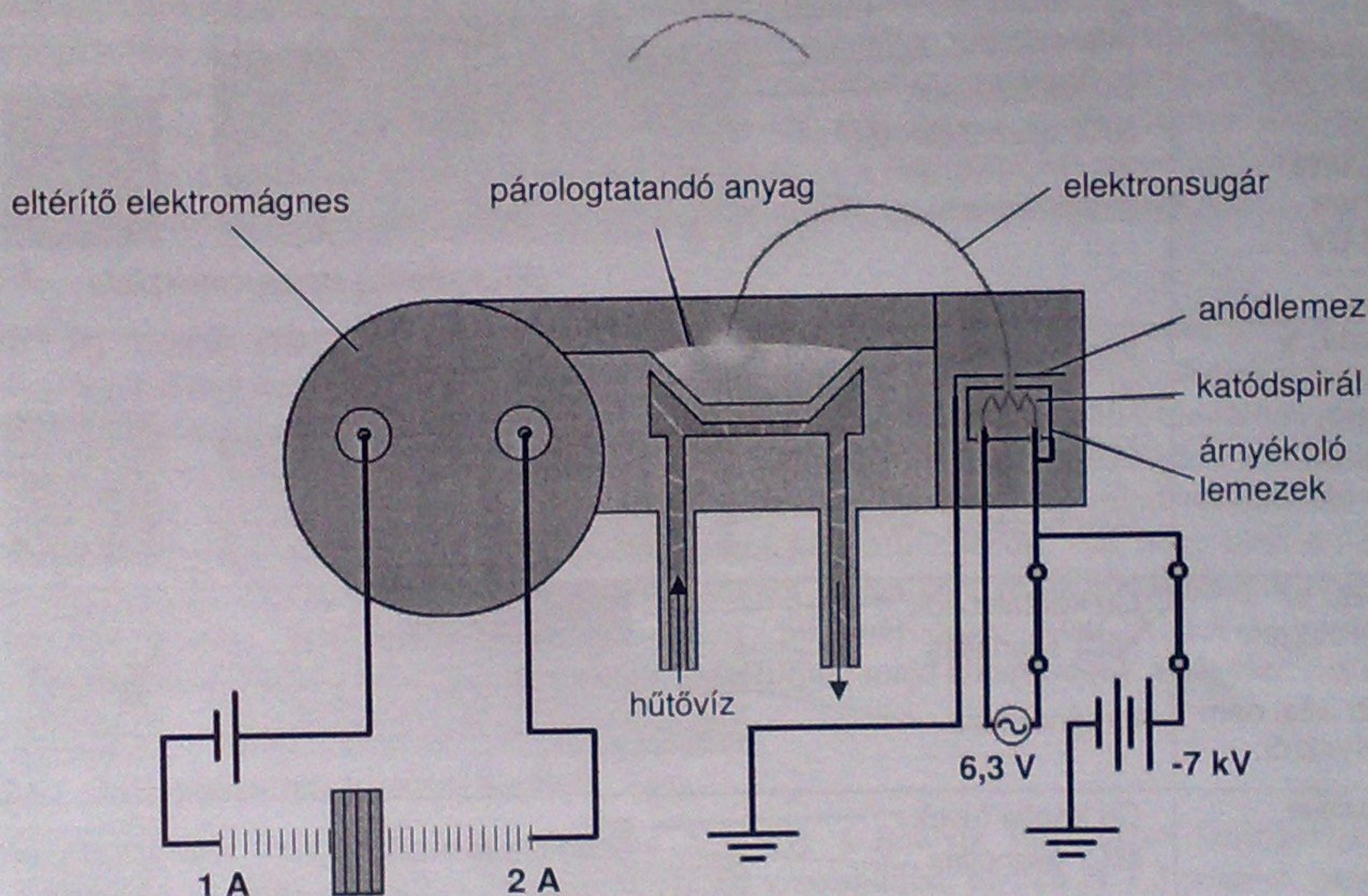
A nagyvákuumszivattyúk sok fajtája közül a mérés során az olajdiffúziós szivattyút alkalmazzuk. A fűvókákon kilépő nagynyomású olajgőzsugarba diffundáló gázmolekulák a náluk nagyságrendekkel nagyobb tömegű olajmolekulákkal ütközve lefelé sodródnak.

Vákuumpárolgató berendezés: Egy elterjedten használt vákuumpárolgató berendezés felépítése az 1. ábrán látható. Első lépésben az elővákuumszivattyú a megkerülő szelepen keresztül ~ 1 Pa nyomásra szívja a vákuumteret. Ezután a megkerülő szelepet lezárják és a rotációs szivattyút az elővákuum szelepen keresztül a diffúziós szivattyúra kapcsolják, amely a tányér alakú nagyvákuum szelepen keresztül nagyvákuumot (10^{-3} - 10^{-5} Pa) létesít a recipiensben. Az olaj bejutását a párolgató munkaterébe a hűtött olajcsapda nehezíti, melynek hideg lemezeihez ütközve az olajgőzmolekulák kondenzálódnak. Még a leggondosabb konstrukciójú és hűtésű olajcsapdák sem képesek maradéktalanul meggátolni az olaj bejutását a vákuumtérbe, így magasabb tisztasági követelmények esetén olaj nélkül működő ún. turbómolekuláris szivattyúkat alkalmaznak. A hordozókat az egyenletes rétegvastagság kialakítása érdekében forgatható tartón (karusszel) helyezik el. A vákuumteret határoló búra, az alaplap, az árambevezetők és az elektronsugaras forrás üregesek és a túlmelegedés megakadályozása érdekében áramló vízzel hűtöttek. A párolgató előtt a hordozókat a felületen megtapadt gázoktól kis nyomáson létrehozott nagyfeszültségű gázkisüléssel (ionbombázás, glimmelés) lehet megtisztítani. A gázkisülésben keletkező ionok nagy sebességgel a hordozóba és a vákuumtérben lévő egyéb alkatrészekbe ütközve a felületen adszorbeált részecskéket eltávolítják.



1. ábra. Vákuumpárolgató berendezés felépítése

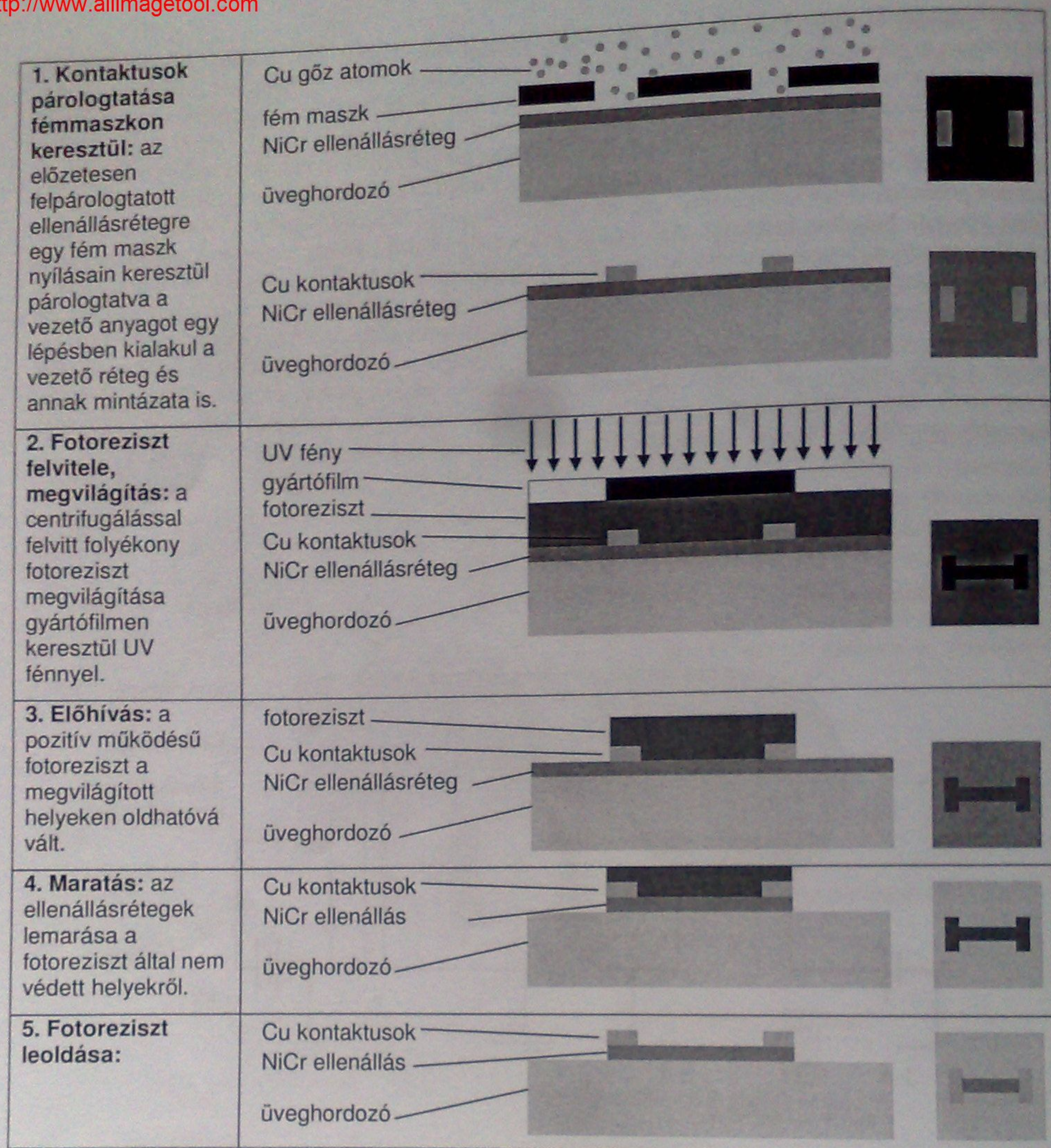
Elektronsugaras párologtatás: a felviendő réteganyag gőzfázisba hozása többféleképpen történhet, a következőkben az elektronsugaras párologtatás rövid bemutatása következik. Az elektronsugaras párologtató forrás vázlatos felépítése a 2. ábrán látható. Az általában wolframból készült katódspirált kisfeszültségű váltakozó árammal felhevítik majd nagy negatív (pl. -7 kV) feszültséget is rákapcsolnak. Az izzítás következtében megnövekedett energiájú elektronok a nagy negatív feszültség hatására kilépnek a katódból és a földelt anódlemez felé gyorsulnak. A katóddal azonos potenciálon lévő árnyékoló lemezek biztosítják, hogy az elektronsugár az anódlemezen lévő furat közepén haladjon keresztül. Az eltérítő elektromágnes hatására az elektronok eltérülnek és a párologtatandó anyagba csapódva azt mozgási energiájukkal melegítik. A tégely felmelegedését a vízűtés akadályozza. A katódspirál hőmérsékletének, azaz a fűtőáramnak a szabályozásával az emittált elektronok száma, így a párologási sebesség változtatható. Az elektronsugár 180°-os eltérítésével a katódspirál élettartamát növelik. A párologó anyag felett keletkező pozitív töltésű ionok a nagy negatív feszültségre kapcsolt katód felé a mágneses tér jelenléte miatt körpályán gyorsulnak, de az elektronoknál 5 nagyságrenddel nagyobb tömegük miatt pályájuk sugara azokénál nagyobb, így többségük nem a katódspirálba, hanem a munkatér más elemeibe csapódik.



2. ábra. Elektronsugaras gőzforrás felépítése

Direkt fémmaszk: a vékony (100-150 μm) fémlemezről készített direkt fémmaszkon kialakított nyílásokon keresztül párologtatva a réteg és a mintázat egyazon technológiai lépésben kerül kialakításra. A módszer jellegéből adódóan nem alkalmas bonyolult, összetett mintázatok kialakítására. Általában kontaktusfelületek, illetve egyszerűbb geometriájú ellenállások párologtathatók.

Fotolitográfia: a rétegfelvitelt követően fotolitográfia segítségével a nyomtatott huzalozású lemezek technológiájához hasonlóan alakítható ki a mintázat. Az NYHL technológiától jelentős eltérés, hogy vékonyrétegeknél nincs furatfémezés, azonban a különböző rétegek (huzalozás, ellenállás, dielektrikum) miatt sokszor szelektív maratás alkalmazása szükséges. A technológia lényege, hogy a teljes felületre felvitt réteg anyag(oka)t szubtraktív módon maratással távolítjuk el a nem kívánt helyekről, ezzel alakítva ki a kívánt mintázatot. A fotolitográfia és a szelektív maratás folyamata az alábbi ábrákon végigkövethető.



3. ábra. Kontaktusréteg felvitele fém maszkon keresztül és a fotolitográfia folyamata

A mérés menete

1. Réz kontaktusfelületek párologtatása fém maszkon keresztül

1.1. vákuum párologtató berendezés bekapcsolása

A félautomata vákuumrendszer egymást kiváltó kapcsolásai időben késleltetettek, így célszerű az egymás utáni kapcsolásokat 2-3 másodperces kivárásokkal végezni. Miután ellenőriztük, hogy a vákuumrendszer kapcsolója „Stand by” állásban van, akkor a főkapcsoló „ON” állásba kapcsolható. Ezután a hűtővíz csapokat és a sűrített levegő szelepét kell kinyitni, a reduktor után a légnyomásnak a szelepek biztonságos működtetéséhez 6-7 bar-nak kell lenni. Az olajcsapda hűtőjének bekapcsolása.

1.2. hordozó behelyezése

A vákuumrendszer belevegőztetése („Vent” $t=2$ perc), a búra felemelése („Open”). Az előzetesen NiCr ellenállásréteggel bevont hordozót a fémmaszk rögzítő keretébe helyezzük, ügyelve a

megfelelő pozícionálásra. A keretet felhelyezzük a hordozótartó karusszelre. A réz öntecs és a megfigyelő tükör ellenőrzése, a tömítő O gyűrűről az esetleges szennyeződések eltávolítása. A búra leengedése a kapcsoló „Stand by” állapotba fordításával történik, a leeresztés közben ügyeljünk arra, hogy a búra mozgását semmi se akadályozza.

1.3. vákuum előállítása

Amennyiben a diffúziós szivattyú elérte üzemi hőfokát (a „Diff” visszajelző lámpa világít) a kapcsoló „Pump” állásba fordításával megkezdhetjük a vákuum előállítását. Először az elővákuumszivattyú a megkerülő szelepen keresztül szívja a vákuumteret ~1 Pa nyomásig. Ekkor a megkerülő szelep lezár, majd az elő- és a nagyvákuum szelep kinyit, így a nagyvákuum szivattyú a nagyvákuumszelepen keresztül a recipiensre, míg az elővákuumszivattyú az elővákuumszelepen keresztül a diffúziós szivattyúra kapcsolódik.

1.4. ionbombázásos tisztítás

Miután a nagyvákuumszivattyú a recipiensre kapcsolódott, a hordozót valamint a vákuumtér belsejét ionbombázással megtisztítjuk a felületen megtapadt gázmolekuláktól. Az ionbombázás bekapcsolása előtt ellenőrizzük, hogy a szabályozó potméter minimumra legyen állítva, majd a kapcsolót „Glow discharge” állásba kapcsoljuk és a potméter segítségével szabályozzuk a beáramló levegő mennyiségét, úgy hogy a kisülés árama 150 mA legyen. 5-10 percnyi ionbombázásos tisztítás után a potmétert minimum állásba csavarjuk és a kapcsolót kikapcsoljuk. Figyeljük meg, hogy a glimmelés megkezdése előtti vákuumértéket milyen gyorsan eléri a rendszer!

1.5. elektronsugaras párologtatás

10^{-3} Pa nyomás elérésekor az átlagos szabad úthossz több mint 5 méter, ami a forrás hordozó távolságánál egy nagyságrenddel nagyobb, így a párologtatás megkezdéséhez adottak a feltételek. A vákuumrendszer kapcsolóját „Cool” állásba helyezve a búraban és az elektronsugaras párologtató forrásban megkezdjük a hűtővíz keringetését. Bekapcsoljuk a nagyfeszültségű transzformátort és ellenőrizzük, hogy a vészjelző lámpák nem világítanak-e. Amennyiben mindent rendben találtunk bekapcsolhatjuk a katódfűtést, a megfigyelő ablakon keresztül ellenőrizzük, hogy izzik-e a katód. A nagyfeszültség rákapcsolása után a katódfűtő áramot lassan emelve az elektronsugár áramát 200-250 mA közötti értékre szabályozzuk, ekkor 60 másodperc alatt kialakul a megfelelő kontaktusréteg. Ezután a fűtőáramot lassan visszaállítjuk, majd kikapcsoljuk a nagyfeszültséget és a fűtést is.

1.6. belevegőztetés, hordozó kivétele

A párologtatás befejezése után minimum 5 percig a hűtővíz folyamatos keringetése mellett várakozni kell, hogy a forrás és a recipiens belseje visszahűljön. Ezután az 1.2 pontnak megfelelően járunk el, a hordozót értelemsszerűen nem betéve, hanem kivéve a berendezésből, majd a búrát visszaengedjük.

1.7. vákuum párologtató berendezés kikapcsolása

A recipiens tisztasága érdekében kikapcsolás előtt legalább 10^{-2} Pa vákuumot állítunk elő az 1.3 pontnak megfelelően. Ezután a vezérlőt „Stand by”, míg a főkapcsolót „OFF” állásba kapcsoljuk. A sűrített levegő szelepét elzárjuk és a diffúziós szivattyút hűtő ventilátort bekapcsoljuk. 40 perc múlva az olajcsapda hűtője és a hűtőventilátor kikapcsolható és a hűtővízcsapok elzárhatók. (A laboratóriumi mérés során a kikapcsolást a mérésvezető végzi, a hallgatóknak nem kell megvárniuk a hosszú lehűtési idő végét.)

2. Ellenálláshálózat kialakítása fotolitográfiával

2.1. fotoreziszt réteg felvitele

A lapkát a vékonyréteggel felfelé centrifugába helyezzük. Az „1350” pozitív működésű fotorezisztből szempeccsöntővel kb. 10 cseppet cseppentünk a lapkára. Centrifugálással $t=20$ másodperc alatt a rezisztet egyenletesen szétterítjük a lapkán. A szemcseppentőt acetonnal kimossuk.

2.2. szárítás, előégetés

Centrifugálás után a hordozót szűrőpapírra helyezve a lamináris boxban $t=3$ percig szobahőmérsékleten szárítjuk. Majd a szűrőpapíron réteggel felfelé elhelyezett lapkát $T=80$ °C-ra előmelegített fűtőlapra tesszük és $t=5$ percig előégetjük.

2.3. megvilágítás

A megvilágítókeretben lévő gyártófilm ábrájához a helyezőábrák segítségével pozícionáljuk a hordozót, majd a szivacsos hátlapot ráhelyezzük és a kallantyúkkal rögzítjük. A záróüveglappal felfelé $t=90$ másodpercre az UV lámpa alá helyezzük.

2.4. előhívás, öblítés

A hordozót tefloncsipesszel megfogva, réteges részével felfelé az 1:9 arányban ionmentes vízzel hígított petricsészében lévő előhívóba helyezzük és enyhe mozzgatás mellett $t=30$ másodperc alatt előhívjuk. Ezután ionmentes vízben leöblítjük a hordozót.

2.5. maratás, öblítés

Cériumszulfátos maratószerrel dolgozunk, elszívófülkében. $4 \text{ g Ce(SO}_4)_2 + 20 \text{ ml HNO}_3 + 50 \text{ ml}$ ionmentes víz. A maratást az előhíváshoz hasonlóan enyhe mozzgatás mellett addig végezzük, amíg a kívánt helyeken tiszta üveg felületet nem kapunk. A maratás után ionmentes vízben öblítünk.

2.6. fotoreziszt eltávolítása

Petricészébe töltött acetonba a lapkát csipesszel behelyezzük és két percig áztatjuk, majd kiemeljük és szűrőpapírra helyezzük, acetonos vattával enyhén áttöröljük.

3. Ellenállások bemérése

Az elkészült és előzetesen lézerrel bekarcolt vékonyréteg csoport hordozót feldaraboljuk és a mérésen résztvevő minden hallgató kap egy-egy 6 különböző formájú és értékű ellenállást tartalmazó vékonyréteg lapkát, melyen mind a 6 ellenállás értékét a rendelkezésre álló ellenállásmérővel ellenőrzi.

Ellenőrző kérdések

1. Mi a vékonyréteg?
2. Sorolja fel a vékonyrétegek jellemző alkalmazási területeit!
3. Mi a vákuum szerepe a vékonyrétegtechnológia során?
4. Vázolja fel egy vákuumpárológató berendezés felépítését, ismertesse főbb elemeit!
5. Vázolja fel az elektronsugaras párológató forrás szerkezetét, ismertesse működését!
6. Ismertesse a vékonyréteg mintázatkialakítási folyamatokat (fém maszk, fotolitográfia)!