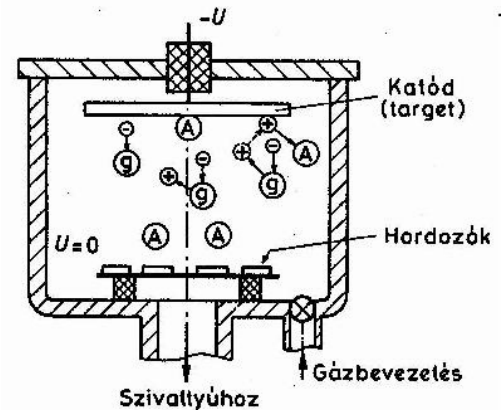


Katódporlasztás

A katódporlasztás alapja egy ritkított térben, két elektróda között létrehozott önfenn tartó villamos kisülés, plazma létrehozása. Ebben a ritkított térben az elektronok felgyorsulnak és ütköznek a - többnyire nemesgáz - atomokkal, amelyekről további elektronokat szakítanak le. Az így keletkezett pozitív ionok az erőtér gyorsításának hatására a katódra csapódnak és amennyiben energiájuk nagyobb a kötési energiánál, atomokat löknek ki onnan. Az így kilökött atomok a katód alatt elhelyezkedő anódon lévő hordozóra csapódnak. A folyamat feltétele a plazma létrejötte.

Rádiófrekvenciás (RF) porlasztást általában szigetelő katód porlasztásánál alkalmaznak. Egyenfeszültségű porlasztás (DC) esetén a szigetelő katód rövid idő alatt feltöltődne, ami megakadályozná a további porlódást. Ennek elkerülése érdekében a pólusok nagyfrekvenciás váltogatásával (13,56MHz), az egyik félperiódusban az elektródákat elektronbombázás éri, ami semlegesíti a pozitív töltést. A pólusok váltogatása miatt a már porlasztott anyag is porlódik. Ennek mértéke azonban elhanyagolható, mert a katód felülete sokkal kisebb, mint az anóde, így a teljesítménysűrűség sokkal nagyobb itt, tehát a target porlódása lényegesen gyorsabb, mint a hordozóé (a katód önfeltöltődés miatt automatikusan nagy negatív feszültségre kerül). A rétegépülés lassúsága miatt azonban az egyszerű rádiófrekvenciás porlasztás nem kedvelt leválasztási mód.

A porlasztás sebességének fokozására valósították meg a magnetronos porlasztást, mely eljárás a jelen technológiák között egyre nagyobb jelentőségre tesz szert [Mojzes, 1995].



1. ábra: A katódporlasztás sematikus ábrája [Mojzes, 1995]

Az ionok targetbe csapódása következtében többféle folyamat játszódhat le.

1. Az ionok semlegesítődve visszaszóródhatnak.
2. A becsapódás következtében szekunder elektronok léphetnek ki a target anyagából, amelyek elérhetik a szubsztrátot is.
3. Az ion beépülhet a targetbe.
4. A becsapódás hatására a target atomszerkezete változhat. Létrejöhetnek intersticiális atomok, lyukak, és vegyület target esetén megváltozhat a target sztöchiometriája.
5. Végül, ami a porlasztás szempontjából az egyetlen közvetlenül is hasznos kölcsönhatás, az ionok atomokat lökhetnek ki a target felületéről. Ezek az atomok ezután kedvező esetben az anódon lévő hordozóra csapódva kialakítják a vékonyréteget. [Hahn, 1986]

Reaktív porlasztás

A reaktív porlasztás annyiban különbözik a fentebb vázolt nem reaktív porlasztástól, hogy a gáztérbe nem csak nemesgáz atomokat vezetünk, hanem a target anyagából porlódott atomokkal reagáltatni kívánt gázt is. Az így reakcióterbe került gáz - a nemesgáz atomjaihoz hasonlóan - ionizálódik. Az ionizált atomok a target gázfázisba hozott atomjaival, illetve azoknak ionjaival a hordozó felszínén vegyületet képeznek. Ez különbséget jelent a reaktív párologtatáshoz képest, mert míg a párologtatásnál a vékonyréteg anyagát képező molekulák a gáztérben alakulnak ki a reakció következtében, addig a reaktív porlasztásnál ez a folyamat nagy valószínűséggel a hordozó felszínén zajlik le.

A reaktív porlasztásnak nagy előnyei vannak a nem reaktív porlasztással szemben.

1. -Lehetséges vegyületek leválasztása fém targetből.

Ez azért bír nagy jelentőséggel, mert a fém target használata lehetővé teszi a gyorsabb porlasztást.

2. -Szigetelő vékonyrétegek választhatók le DC porlasztással.

A vékonyréteg anyaga csak a hordozó felületén alakul ki. Ennek köszönhetően a target anyaga lehet fém, így alkalmazhatunk DC forrást is, amit szigetelő target esetében nem tehetnénk meg, mert a szigetelő hamar feltöltődne, ezzel lehetetlenné téve a további porlódást.

3. -A rétegek összetételét szabályozni lehet.

Mivel a kialakuló réteg összetétele függ a porlasztás paramétereitől ezeknek a változtatásával széles skálán befolyásolhatjuk a kialakuló réteg tulajdonságait [www.ccm.ecn.purdue.edu].

A reaktív porlasztás rendkívül komplex folyamat. A leválasztott vékonyréteg összetételének paraméterfüggése még nem teljesen tisztázott. A nem reaktív porlasztással szemben itt a kialakult réteg egyenletességén és minőségén kívül, vegyületekről lévén szó figyelni kell a réteg sztöchiometriájára is. A paraméterek jó beállítása nagy körültekintést és pontosságot igényel. További kérdésként merülhet fel a kialakított rétegek reprodukálhatóságának és az összetételen kívül egyéb strukturális és mechanikai tulajdonságának szabályozása.

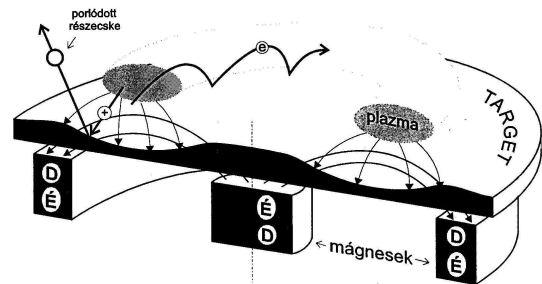
A magnetronos porlasztás

Létezik a klasszikus porlasztásokkal együtt alkalmazható, de azoknál hatékonyabb, kisebb plazmateljesítménynél is jó hozamot biztosító, és ezzel nagyobb rétegépülési sebességet lehetővé tevő porlasztási mód, a síkmagnetronos porlasztás. Kialakítása annyiban különbözik a hagyományos RF és DC porlasztóktól, hogy a target mögött egy erős állandó mágnes helyezkedik el. (A mágneses tér előállítására elektromágnes is alkalmazható, de az állandó mágnes egyszerűbb megoldás.) [Vossen, 1978]

A hagyományos módoknál a targetból kilökött szekunder elektronok elhagyva a target felszínét, egyenes vonalon távoznak. Ezután a szubsztráttartóba, vagy a hordozóba csapódnak nemkívánatos felmelegedést, esetleg sugárkárosodást okozva. Ezek az elektronok döntő többségükben úgy hagyják el a plazma területét, hogy nem okoznak ionizáló ütközéseket. Ezeket az ionizáló ütközéseket igyekszik megsokszorozni a magnetron alkalmazása. [Wolf, 1986]

A magnetront úgy helyezik el a target mögött, hogy előtte legalább egy olyan terület keletkezzen, ahol a mágneses tér zárt erővonalai párhuzamosan futnak a katóddal. Ezen a területen a mágneses tér merőleges az elektromos térre. A mágneses erővonalak áthaladva ezen a területen, ideális esetben merőlegesen érkeznek a katód felületére.

A kezdetben nyugalomban lévő elektron (pl.: éppen most emittált szekunder elektron) mozgása ekkor a következőképpen alakul. Az elektromos tér gyorsító hatására felgyorsul, de ezzel egy időben hatni kezd rá a mágneses tér hatása is. A mágneses erő a fent leírtak szerint eltéríti az elektront és ciklois pályára kényszeríti. Ha elég erős a mágneses tér, az elektron sebességének iránya visszatérül a target irányába, és elhagyja a mágneses teret. Amint az elektron megközelíti a katód felületét az elektromos tér fékező hatása fog érvényesülni és így az elektron egy pillanatra megint nyugalomba kerül. Ekkor ismét felgyorsul, és a periódus kezdődik előlről.



2. ábra: Csapdázott elektronok tipikus pályája, és a target erőzójának jellegzetes képe [Szikora, 2000]

A fent vázolt pályán mozgó szekunder elektronok addig mozognak periodikusan ezen a pályán, amíg egy Ar atommal nem ütköznek. Nem minden ilyen ütközés hatására jön létre Ar⁺ ion, de a magnetron hatására az ionizációs határfok lényegesen megnő. Az ilyen módon csapdázott elektronoknak köszönhetően a target kisülési áramsűrűsége 10-100 mA/cm²-re nőhet a magnetron nélküli porlasztóforrások 1mA/cm²-ével szemben [Chapman, 1980]. Jellegzetes a síkmagnetronos porlasztók targetjének erőzója (4. ábra). Erősen kopik a target a két mágneses pólus közti sávban és a target anyagának jelentős része felhasználatlan marad.

A porlasztásnál a kialakult réteg minősége sok paramétertől függ:

- A hordozó hőmérséklete. A hordozó hőmérsékletének emelésével egyre stabilabb és jobb szerkezetű réteg hozható létre. Egy bizonyos (anyaganként más és más) hőmérséklet fölött azonban a kialakult réteg minősége romlani kezd.
- A vákuumtér gáznyomása. Túl kis nyomás esetén a plazma nem képes kialakulni, vagy inhomogén lesz. E körül a nyomásérték körüli leválasztásoknál a plazma bizonytalansága miatt a leválasztott vékonyréteg reprodukálhatatlanná válik. Túl magas nyomás esetén ugyan kellő mennyiségű ion keletkezik a plazma fenntartásához és a kellő hozamú porlasztás biztosításához, de a részecskék szabad úthosszát a nyomás erősen csökkenti. Ennek hatására az ionok szóródnak, és nem, vagy csak igen kis energiával jutnak el a target felszínéig.
- A target teljesítménysűrűsége. Túl nagy teljesítménysűrűség esetén a hordozót érő elektronbombázás rontja a rétegminőséget.
- A target-hordozó távolság. Túl nagy távolság esetén a rétegépülési sebesség túl kicsi lesz a szóródások miatt, továbbá a nagy távolság következtében nagyobb az esély rá, hogy a hordozón kialakuló réteg

szennyeződik. Kis távolság esetén a réteg egyre inhomogénebb lesz. Az optimális távolságot befolyásolják a berendezés paraméterei, és a targetból a hordozóra érkező atomok energiája.

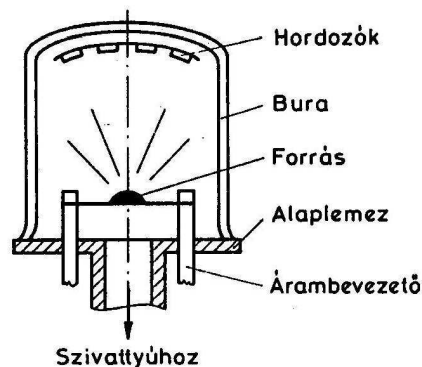
- A hordozó helyzete a mintatartón. A berendezések kialakításakor törekednek a lehetőségekhez képesti legnagyobb egyenletességet lehetővé tenni a mintatartó területén, de általában a szélék közelében inhomogenitások mutatkoznak [www.ece.cmu.edu].

Vákuumpárolgatás

A vákuumpárolgatás lényege, hogy ritkított térben a leválasztani kívánt anyagot Joule-hő, elektronnaláb, vagy lézer energiája segítségével gőzfázisba hozzuk és az a hordozó felületén kondenzálódik, kialakítva rajta a vékonyréteget.

A megfelelő vékonyréteg kialakulásához szükséges, hogy a gőzfázisba jutott anyag lehetőleg ütközés nélkül jusson el a hordozóig. Ennek feltétele, hogy a szabad úthossz nagyobb legyen a forrás hordozó távolságánál.

Hatékony gőzölés csak akkor lehetséges, ha a forrás gőznyomása 10^{-4} mbar fölé kerül. Ahhoz, hogy a vákuumtérben lévő forrásanyag gőznyomása ezt az értéket elérje, energiaközlés szükséges. Az energiaközlés módja szerint két különböző típusú gőzölésről érdemes szót ejteni.

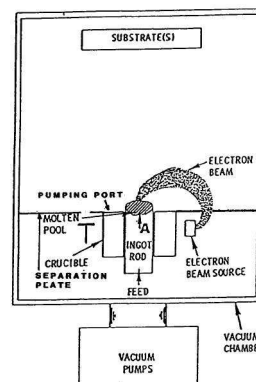


3. ábra: A vákuumpárolgatás sematikus ábrája [Mojzes, 1995]

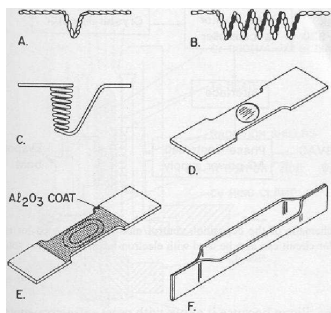
- -elektronsugaras gőzölés

Ennek lényege, hogy a magas olvadáspontú, kis diffúziós állandójú fűtőtégelyben lévő forrásanyagot elektronsugárral fűtjük. A tégelyt, amit rendszerint rézből állítanak elő vízzel erősen hűtik a gőzölés alatt, hogy anyaga semmiképpen se szennyezhesse a gőzölni kívánt forrást. Elektronforrásként wolfram szálat használnak, amit elrejtenek a tégely alatt, a képen látható módon. Erre azért van szükség, hogy a gőzölés során az elektronforrás ne gőzölődhessen be. A wolfram szálból emittált elektronnalábat elektromágnessel térítik 270° -ban a forrásanyag irányába. Az elektronsugaras gőzölés alkalmas olyan anyagok és vegyületek gőzölésére, amik a gőzölés során folyékony halmazállapotba kerülnek.

4. ábra: Elektronsugár forrás a jellegzetes 270° -os eltérítéssel



- -fűtőszálas gőzölés



5. ábra: Különböző típusú csónakok és fűtőszálak

Lényeges különbség a elektronsugaras gőzöléshez képest, hogy ebben az esetben Joule-hő segítségével növeljük meg a forrásanyag gőznyomását. Ez kétféleképpen lehetséges. Egyrészt wolfram, vagy molibdén csónakból, másrészt wolfram fűtőszállal.

Wolfram (vagy Mo) csónakot gyakran alkalmazzák szublimációs rétegleválasztásnál. Ebben az esetben a forrásanyag nem kerül olvadék fázisba, hanem gőznyomása a csónakban felhevülve, szublimálva éri el a 10^{-4} mbar értéket.

Wolfram fűtőszálat kisebb berendezésekben, kis mennyiségű anyag gőzölésénél használnak. Itt a gőzölni kívánt anyagot kis darabkákban közvetlenül a fűtőszálra helyezik (un. lovasok formájában). Gőzölés alatt a felizzó fűtőszál megolvasztja a rajta levő anyagot, ami ennek hatására szétterül az izzószálon, és folyamatosan párolog el. Ez a technológia gyártásban elavultnak számít, mert

nem megfelelően tiszta, körülményes és nehezen szabályozható.

Az elektronsugár és Joule-hő mellett más vákuumpárolgatási módok is léteznek:

- - Indukciós párolgatás
- - lézeres párolgatás

Vegyületek gőzölése

Legtöbb esetben a leválasztani kívánt vékonyréteg anyaga megegyezik a forrás anyagával. Néhány esetben azonban vegyületek, ötvözetek leválasztására is szükség van. Ez a következő problémákat veti fel.

-Vegyületet forrásként használva a kémiai kötés felbomolhat és más összetételben alakulhat ki a vékonyréteg. Pl.: SiO_2 forrást használva a kialakuló vékonyrétegnek nem lesz sztöchiometrikus az összetétele, SiO_{2-x} réteg alakul ki.

-Ötvözetből kiindulva nagy a valószínűsége annak, hogy adott hőmérsékleten az ötvözetet alkotó anyagoknak más a gőznyomása, ami eltérő sebességű párologtatást eredményez az egyes összetevőkre vonatkozóan, ezzel más összetételű réteget alakítva ki.

-Ötvözet forrást használva további hátrány, hogy az összetevők eltérő sebességű párolgása miatt a forrás összetétele időben nem állandó, ezzel ellenőrizhetetlenné téve a rétegleválást.

A felmerülő problémákra jelent megoldást az együtt gőzölés és a reaktív vákuumpárologtatás.

- **Reaktív vákuumpárologtatás**

A reaktív vákuumpárologtatás abban különbözik a nem reaktív gőzöléstől, hogy a vákuumtérbe nem csak nemesgázt (többnyire Ar) vezetünk be, hanem a gőzölés során gőzfázisba hozott anyaggal reagáltatni kívánt gázt is. Ez a gáz a gáztérbe kerülve és a párolgó anyagokkal reakcióba lépve vegyületet képez és kialakítja a számunkra megfelelő összetételű vékonyréteget. (A bevezetett reakciógáz egyes esetekben nem kerül reakcióképes állapotba a vákuumtérben. A reakció elősegítése érdekében ezért egyes esetekben plazmát állítanak elő, hogy a gáztér ionizálása következtében kialakulhasson a megfelelő szöchiometriájú réteg.)

- **Együttpárologtatás**

Ötvözet vékonyrétegek kialakítására általában az együttpárologtatást szokás használni. Lényege, hogy az ötvözet anyagait külön tégelyekből gőzölik. Ennek előnye, hogy kiküszöböli az anyagoként különböző gőznyomásból eredő problémákat. Segítségével lehetőség nyílik a vékonyréteg vertikális összetételének folyamatos változtatására is, ugyanakkor a rétegleválástási paraméterek helyes beállítása rendkívül nehéz.

A vákuumpárologtatásnál a kialakult réteg minősége sok paramétertől függ:

- **A hordozó hőmérséklete.** A hordozó hőmérsékletének emelésével egyre stabilabb és jobb szerkezetű réteg hozható létre. Egy bizonyos (anyagoként más és más) hőmérséklet fölött azonban a kialakult réteg minősége romlani kezd.
- **A vákuumtér gáznyomása.** A vákuum javulásával egyre tisztább réteget kapunk, hiszen a vákuumtérnek egyre kisebb a szennyező hatása
- **Hordozó mozgatása leválasztás közben.** A hordozókat általában egy speciális "bolygó" mozgással forgatják a forrás fölött, az egyenletesebb réteg kialakulása érdekében.
- **A target-hordozó távolság.** Általában a rétegminőség javítása érdekében a minél nagyobb távolság a kívánatos. Ekkor a rétegek vastagsága sokkal kisebb szórást mutat. Ehhez azonban nagyobb vákuumkamra kell, amit csak kiváló vákuum esetében alkalmazhatunk, hiszen a szabad úthossz a vákuum függvénye.
- **A hordozó helyzete a mintatartón.** A berendezések kialakításakor törekednek a lehetőségekhez képesti legnagyobb egyenletességet lehetővé tenni a mintatartó területén, de általában a szélek közelében inhomogenitások mutatkoznak [www.ece.cmu.edu].
- **Forrásanyag tisztasága.** Általában 5-6 9-es tisztaságú anyagok használata általános
- **Tégely anyaga.** A tégelyek anyagát úgy választják meg, hogy azok a lehető legkevésbé szennyezhessek el a forrásanyagot. Mindenképpen kis diffúziós állandójú anyagra van szükség, aminek vagy magas az olvadáspontja (W, Mo), vagy megoldható a rendkívül jó hűtése rétegleválástás közben (Cu).

Rétegminősítés

Rétegvastagság

A rétegvastagságot különböző módokon, de leggyorsabban mechanikus tapogató műszer segítségével mérik. A mérés lényege, hogy a vékonyrétegből kémiai marással készített lépcsőn egy függőlegesen és vízszintesen is mozgó, kis görbületi sugarú kemény tű segítségével, néhány nm pontossággal letapogatják a felületet.

Négytűs mérés

Jól ismert mérési eljárás a rétegellenállás mérésére a lineáris négytűs módszer. A mérés elrendezése végtelenül vékony réteg feltétellel ($w \ll l$) a 6. ábrán látható.

A mérés lényege, hogy áramgenerátorral a két szélső tűn áramot kényszerítünk át, miközben a két középső tűn mérjük a feszültséget. Az elhanyagolásokhoz szükséges geometriai feltételek teljesülése esetén:

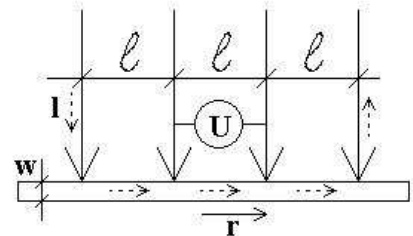
$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{U}{I} \approx 4.53 \frac{U}{I} \quad (1)$$

Ahol R_s a rétegellenállás, U a mért feszültség, I pedig a két szélső tűn folyó áram.

Rétegvastagság és a rétegellenállás segítségével meg tudjuk határozni a fajlagos ellenállást is:

$$\zeta = R_s w \quad (2)$$

Ahol ζ a fajlagos ellenállás és w a rétegvastagság.



6. ábra: A négytűs mérés vázlatos rajza