

Szerk.: dr. Illés Balázs

ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET LABORATÓRIUM

Segédlet az „Elektronikai technológia és anyagismeret” (BMEVIETAB00) tárgyhoz

Kézirat, kizárólag a BME hallgatóinak használatára

dr. Berényi Richárd
dr. Bonyár Attila
dr. Gál László
dr. Gordon Péter
dr. Géczy Attila
Hajdu István
dr. Harsányi Gábor
dr. Hurtony Tamás
dr. Illés Balázs
dr. Krammer Olivér
dr. Medgyes Bálint
dr. Szabó Péter János

Szerkesztette:
dr. Illés Balázs

(Harmadik kiadás)

egyetemi segédlet
oktatási célra

Tartalomjegyzék

I. Nyomtatott huzalozások technológiája	5
II. Vékonyréteg áramkörök előállítása és lézeres mintázatkialtá	11
III. Passzív hálózatok készítése vastagréteg technológiával	17
IV. Pásztázó elektronmikroszkópia	23
V. Moduláramkör készítése furatszerelési technológiával, kötések vizsgálata	29
VI. Moduláramkör készítése újraömllesztéses felületszerelési (SMT) technológiával	35
VII. Nyomtatott huzalozású lemez tervezése elektronikai szerelési technológiák vizsgálatára	41

I. Nyomtatott huzalozások technológiája

A mérés célja: a nyomtatott huzalozások mechanikai, fotolitográfiai, valamint a szelektív rétegfelviteli és ábrakialakítási technológiáinak megismerése.

A mérési feladat: olyan kétoldalas, furatfémmezett, fényes ónbevonattal ellátott nyomtatott huzalozású hordozó készítése, melynek előállításában a hallgatók is részt vesznek, és amelyet az Elektronikai Technológia gyakorlat más mérésein is fel fognak használni. A gyakorlatvezető irányításával a hallgatók elvégzik a nyomtatott huzalozású lemezek gyártásának főbb technológiai lépéseit.

A mérés elvégzésével megszerezhető képességek: az alkalmazott berendezések működését és működési elvét, az alapvető technológiákat, a technológiák gyakorlati alkalmazását valamint a környezetvédelmi ismereteket tanulmányozzák a hallgatók.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid meghatározása:

Nyomtatott huzalozású hordozó (lemez): Az elektronikus készülékek, berendezések döntő többségénél a diszkrét aktív és passzív alkatrészeket nyomtatott huzalozású hordozókra szerelik. E hordozók feladata az alkatrészek mechanikai rögzítése és az alkatrészek kivezetői közötti villamos kapcsolat megteremtése szigetelő lemezen megvalósított vezető rajzolat révén.

Furatfémmezés: a fúrás elvégzése, és megfelelő felületkezelés után a villamos szempontból szigetelő furatfalra árammentes, illetve elektrokémiai rétegépítési technológiákkal rézet, majd ónréteget visznek fel. A furatfémmezés alkalmas vezető síkok közötti átvezetések (viák) kialakítására és a forrasztási felület megnövelése révén mechanikailag erősebb kötést kapunk. Már a huzalozás-tervezés során figyelembe kell venni a furatfémmezés vastagságát a furatátmérő meghatározásakor. Fontos a furatfémmezés minősége, elsősorban a megfelelő áramterhelhetőség, a jó tapadás és a forraszthatóság.

Rajzolatfinomság: A nyomtatott huzalozások fontos jellemzője a rajzolatfinomság, azaz a rajzolon előforduló minimális vezeték- és szigetelő köz-szélesség. Ennek minimális értéke általában 0,1...0,3 mm, de ha az áramterhelhetőség, illetve az üzemi feszültség indokolja, akár néhány mm is lehet.

Fotolitográfia (fotoreziszt technológia): A fotolitográfia során a hordozó felületére fényérzékeny anyagot, ún. fotorezisztet visznek fel. A fotoreziszt anyaga laminálással felvitt fólia (szilárd rezisztek), szitanyomtatással felvitt kétkomponensű lakk, vagy ún. függönyöntéssel felvitt folyékony reziszt. A függönyöntésnél megfelelő résen át szivattyú segítségével függőleges folyékony reziszt filmet hoznak létre, melyre merőlegesen halad a hordozó. A fotoreziszt film egyenletesen ráterül a hordozó felső oldalára. A folyékony reziszteket megvilágítás előtt beszárítják. Megvilágításkor az UV fény hatására kémiai kötések alakulnak ki, vagy bomlanak fel, miáltal megváltozik az előhívószerral szembeni oldhatóság. A fotorezisztet ún. gyártófilmen keresztül világítjuk meg, mely a megvalósítandó rajzolatot tartalmazza. Az ún. **negatív működésű reziszteknél** a megvilágított részeken oldhatatlanná válik a fotoreziszt bevonat. Ritkán **pozitív működésű reziszteket** is alkalmaznak, amikor a megvilágított részek oldhatók az előhíváskor. Az előhívás után a felületen maradó szelektív fotoreziszt bevonat a maszk. **Negatív maszkról** akkor beszélünk, amikor a megvalósítani kívánt ábra negatívja a maszkkal fedett rész. **Pozitív maszknál** a maszk a rajzolatnak megfelelő részeket fedi. Előbbit szelektív rétegfelviteli (pl. galvanizálás), utóbbit réteg eltávolító technológiákhoz (maratás) használják. A gyakorlaton negatív maszkot készítünk.

Nedveskémiai bevonat-készítési technológiák: A nyomtatott huzalozások technológiájában a galvanizálást, az árammentes bevonat-felvitelt és az ún. immerziós bevonatkészítést soroljuk ide. Mindhárom eljárás folyékony közegben (elektrolitokban) kémiai reakciók révén megy végbe, ezért nevezzük e technológiákat nedveskémiai eljárásoknak. Közös tulajdonságuk, hogy e folyamatok mindegyike redukció: pozitív töltésű fém-ionok elektronfelvétellel fémmé redukálódnak. Galvanizálás során a redukció elektromos áram hatására megy végbe, árammentes rétegfelvitel

esetén redukálószerrel használnak, az immerziós bevonat készítésekor pedig az elektródpotenciálok különbsége a folyamat hajtóereje.

Alkalmazott technológiák:

- mechanikai technológiák: lemezollóval végzett darabolás, fúrás, csiszolás, kontúrmarás;
- fotolitográfia: fotoreziszt felvitele, gyártófilm illesztése, megvilágítás, előhívás;
- nedveskémiai technológiák: tisztítás, rétegfelvitel, rétegtávolítás (maratás).

A nyomtatott huzalozású hordozók gyakrabban használt alapanyagai: A különböző hordozók felhasználási területeit a vázanyag és a kötőanyag fizikai és kémiai tulajdonságai határozzák meg. Néhány elterjedten alkalmazott hordozó fontosabb tulajdonságai az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat. Alapanyagok néhány tulajdonsága

Tulajdonság	Mértékegység	fenol-papír	epoxi-papír	epoxi- üvegszövet
		Előírt érték a NEMA LI-1 szabvány szerint		
Szabványos jelölés		FR2	FR3	FR4
Árarányok (FR4 = 100 %)		55 %	65 %	100 %
Hajlítószilárdság, min.	N/mm ²	80	110	300
Mechanikai megmunkálhatóság		+++	+++	+
Vízfelvétel, min.	mg	40	40	20
Felületi ellenállás min.	Ω	10 ⁹	3x10 ⁹	10 ¹⁰
Veszteségi tényező 1 MHz-en		0,050	0,045	0,035
Dielektromos állandó 1 MHz-en		5,5	5,2	5,4
Forrászfűrdőállóság 260 C°-on	s	10	20	20
Rézfólia lefejtési szilárdsága, min.	N/mm	1	1,2	1,4

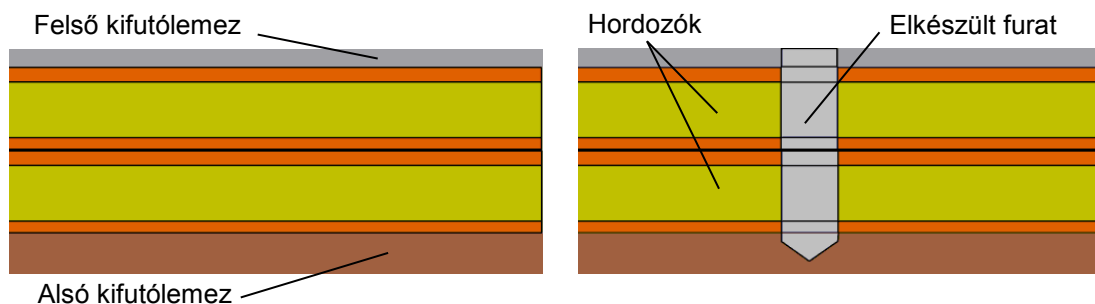
A megvalósítandó áramkörökhöz az optimális hordozó-anyagot az egyes tulajdonságok – pl. villamos és/vagy mechanikai tulajdonságok, környezetállóság, ár – mérlegelésével kell megválasztani. Olyan célra, ahol az ár a lényeges szempont, legtöbbször az olcsó **papírváz erősítésű fenolgyanta** lemezeket használják. Ezek hőállósága megfelelő, jól megmunkálhatók, de nagy a nedvszívó képességük és kicsi a mechanikai szilárdságuk. Gyártják önkilto változatban is, ami azt jelenti, hogy a hordozó meggyulladás esetén égést elfojtó gázok keletkeznek. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező hordozók szabványos jelölése tartalmazza az FR (Flame Retardant) jelzést. A **papírváz erősítésű epoxigyanta** lemezek kis dielektromos veszteségi tényezővel és kedvező szigetelési tulajdonságokkal rendelkeznek. Jól sajtolhatók, hajlító szilárdságuk jobb, mint a fenolgyanta lemezeké. A megmunkálási körülményektől függően fémezett falú furatok készítésére is alkalmasak. Az **üvegszövet erősítésű epoxigyanta** lemezek kiváló villamos, mechanikai és hőállósági tulajdonságokkal rendelkeznek. Vízfelvételük csekély. Furatfémezési technológiákhoz kiválóan alkalmasak. A két oldalon huzalozott, fémezett furatú és többrétegű nyomtatott huzalozású lemezek legelterjedtebben használt szigetelőanyaga.

Az említett hordozók mellett számos egyéb anyagot is használnak, melyek alkalmazását egy-egy különleges tulajdonságuk teszi indokolttá. Ilyen lehet például a kis dielektromos állandó vagy veszteségi tényező, a hőmérsékletállóság, hőtágulási és hővezetési tulajdonságok. Kiváló dielektromos tulajdonságai miatt a mikrohullámú elektronikában gyakran alkalmazzák a **politetrafluoretilént (PTFE)**, közismert nevén a teflont. Alkalmazásának korlátja elsősorban az igen magas ár. A **poliimidet** jó szigetelési tulajdonságai mellett elsősorban az epoxigyantához képest magasabb hőállósága miatt célszerű esetenként használni.

A mérés menete

1. CNC fúrás

A CNC fúráshoz köteget készítünk, azaz lemezollóval méretre vágjuk az FR4-es epoxi-üvegszövet hordozót, valamint a kifutólemezeket, majd két helyen fúrás után 3 mm átmérőjű csappal egymáshoz rögzítjük a lapokat. Felső kifutólemezként 0,24 mm vastag kemény alumínium lemezt, alsó kifutólemezként pedig 2,5 mm vastag döntően műgyantából és farostból álló lemezt használunk. A termelékenység növelése érdekében rendszerint több hordozót fognak össze, egyszerre végezve el azok fúrását (1. ábra). A kötegben egyszerre fúrható hordozók számát (általában 2...4 db) a fúróprogramban előforduló legkisebb átmérőjű furatra számított furathossz-furatátmérő arány határozza meg, amelynek általában 7-nél nem szabad nagyobbak lennie. A kifutó lemezek alkalmazásának célja elsősorban a sorjaképződés megakadályozása. Az alsó kifutólemez feladata egyben a munkaasztal védelme is. A köteggészítést követő lépés a fúrás, ami CNC géppel történik (2. ábra).



1. ábra. Elkészült köteg (pakett)

2. ábra. CNC-fúrás

A köteget a két csap alul kilógó részét megfogó pneumatikus szerkezet segítségével lehet a munkaasztalon rögzíteni. A fúróorsót ill. az asztalt nagy menetemelkedésű csavarorsók közbeiktatásával szervomotorok mozgatják a három tengely irányában. A gép működése közben keletkező fúrási törmelékelt elszívó rendszer távolítja el.

A számítógépes tervezés (CAD) befejezésekor gyártófájlokat készítenek, ezek egyike a fúrógépet vezérlő, rendszerint *drl* kiterjesztésű fájl, amelynek kiterjesztése a fúrás angol elnevezéséből (*drill*) származik. A fúróprogram tartalmazza azt az információt, mely meghatározza furatok átmérőjét és azok koordinátáit. A furatkoordináták átmérők szerint csoportosítva szerepelnek a fúróprogramban, az átmérő általában 0,1...6,3 mm közé esik, ennél nagyobb furatokat kör kontúrmarásával lehet kialakítani. 3 mm feletti átmérőjű furatoknál a légszűrőgyázású orsók kímélése érdekében 1 mm körüli átmérőjű szerszámmal előfúrást végeznek, ezek a furatok a program elején helyezkednek el. A furatok elkészítésének sorrendje erőteljesen befolyásolja a termelékenységet, ezért a gyártás előkészítésekor az orsó útvonalát optimalizáljuk. Fúrás közben a számítógép kijelzi a gép működésének fő adatait: az éppen használt átmérőt, a fordulatszámot, az előtolási sebességet, az összes furat számát, az éppen készülő furat sorszámát és a fúró pillanatnyi koordinátáit. Az optimális technológiai paramétereket (fordulatszám, előtolási sebesség) az alábbi összefüggésekkel határozhatjuk meg:

$$n = \frac{v}{d\pi} \quad (1)$$

és

$$v_e = e \times n \quad (2)$$

ahol:

- n : fordulatszám (ford/min),
 - v : a fúró kerületi ("vágási") sebessége $\approx 100...150$ m/min,
 - d : a fúró átmérője $\approx 0,1...6,3$ mm,
- v_e : előtolási sebesség (m/min),
 - e : előtolás $\approx 0,05...0,15$ mm/ford.

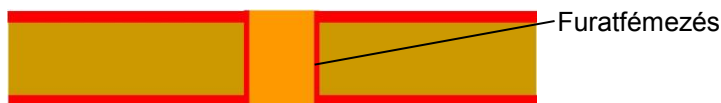
Fentiekből adódóan a fordulatszám általában 18...125 ezer ford/min, az előtolási sebesség 2...4 m/min. A fűrógép a szerszámot tárból emeli ki, és annak hosszát, átmérőjét, valamint a forgás közben fellépő oldalirányú elmozdulását (excentricitását) lézeres berendezéssel méri. Amennyiben a mért érték a megadott tűrésen kívül esik, hibaüzenettel visszateszi a szerszámot a tárba, s ha esetleg van még ott ugyanolyan átmérőjű szerszám, akkor azt is megméri. A fűrást a köteg szétbontása követi, melyet pneumatikus csapkinyomó segítségével végzünk el.

2. Nedves csiszolás

A kifűrt hordozók csiszolását 4 csiszoló hengerrel rendelkező berendezéssel végezzük, 2 henger fölülről, 2 pedig alulról csiszolja meg a lemezeket, majd nagynyomású vizes öblítés és meleg levegős szárítás következik. Csiszolás közben a szállítószalagon egyenletes sebességgel haladó hordozót mindkét oldalról vízzel permetezzük, így megfelelő érdességű tiszta rézfelületet kapunk. A csiszoló és támasztó hengerek helyzetét a hordozóvastagság függvényében kell beállítani. A csiszolás eltávolítja a rézfelületen lévő szennyeződések nagy részét, az oxidot, megszünteti a fűráskor keletkezett kismértékű sorját a furatok pereménél, és egyúttal biztosítja a kellő felületi érdességet a további műveletekhez.

3. Furatfémezés

A csiszolást a **furatfémezés** követi. A galvanizálás során a redukció külső áramforrásból eredő elektron(ok) felvétele révén megy végbe, azaz a munkadarab felületének vezetőnek (ekvipotenciálisnak) kell lennie. Ezt áthidalhatjuk azzal, hogy a furat szigetelő falának szigetelési ellenállását palládium szulfidos bevonattal lecsökkentjük (direkt galvanizálás). Bár a hordozó felszíne a furatok falán nem tekinthető klasszikus értelemben vezetőnek (egy-egy furat ellenállása $n \times 10 \text{ k}\Omega$), viszont a kialakított vegyület bevonat lehetővé teszi a galvanizálást. Így a furatok falára kb. 5 μm vastag rézbevonat kerül (3. ábra).



3. ábra. Hordozó a furatfémezés után

4. Fotoreziszt maszk készítés

A fotoreziszt számos fontos fizikai-kémiai tulajdonsága UV fény hatására megváltozik. Ilyen számunkra fontos tulajdonság az oldhatóság. A gyakorlat során szilárd fotoreziszt felhasználásával készítünk negatív maszkot. A szilárd fotoreziszt tekercsben kapható, a fényérzékeny anyag 2 védőfólia között helyezkedik el. Főként környezetvédelmi okok miatt lúgos vizes oldatban előhívható fotorezisztet használunk. A megfelelően megcsiszolt, légkeveréses kemencében előmelegített lemezekre kb. 130 °C-on, 0,7 m/perc sebességgel felhengereljük a fotoreziszt fóliát, így a hordozóhoz megfelelő tapadást érhetünk el. A fotoreziszt laminálásakor a hordozó felőli oldalról a védőfóliát lefejtjük. Az alkalmazott fotoreziszt vastagsága 38 μm . A gyakorlaton negatív működésű fotorezisztet alkalmazunk, tehát negatív maszk készítéséhez pozitív gyártófilmre van szükségünk. A gyártófilmet a fotoreziszttel bevont hordozón pozicionálni kell, a pontos illesztést három, erre a célra készített furat és a gyártófilmen lévő ugyancsak három, megfelelően elhelyezett helyező ábra teszi lehetővé. A megvilágítás előtt a hordozót a hozzá rögzített filmmel együtt vákuum keretbe helyezük, ahol a külső levegő nyomása a filmet a fotoreziszttel bevont hordozóra szorítja, ezáltal az alávilágítás elkerülhető. Az UV fényel történő megvilágításkor a fotoreziszt egységnyi felületére típusától függő fényenergia mennyiségnek kell jutnia (20...100 mJ/cm^2). A megvilágításhoz használt fémhalogén lámpa 5 kW teljesítményű, a megvilágítás ideje néhány másodperc. A berendezés belsejében fényintenzitás mérő található, mely folyamatosan méri a megvilágító keretre jutó UV fény intenzitását, s ennek függvényében határozza meg a vezérlő egység a fényzár nyitva tartásának idejét, annak érdekében, hogy a fotoreziszt megvilágítása optimális energiával történjék. A megvilágítás után eltávolítjuk a gyártófilmet és előhívjuk a lemezt (4. ábra). Az előhívás előtt a fotorezisztről eltávolítjuk a védőfóliát és az előhívó gép szállítószalagjára helyezük a lemezt. Az előhívó zónában az oldatot szivattyú permetezi

szórófejekén keresztül mindkét oldalról a szállítószalagon haladó hordozóra, majd a lemez kaszkád öblítőkön halad át, ahol a kihordott előhívó oldatot eltávolítjuk.

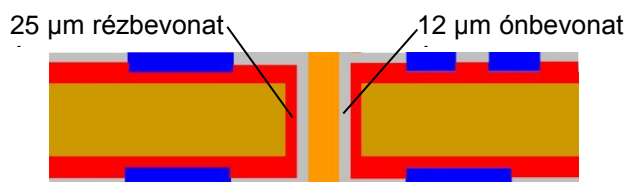


4. ábra. Hordozó az előhívás után (negatív maszk)

Ahol a gyártófilm fedett volt, a fotorezisztet nem érte UV fény, ezért ezek a részek az előhívóban oldhatóak maradtak, míg a megvilágított részekben az UV fény kémiai kötések létrejöttét eredményezte, s ez a fotorezisztet oldhatatlanná tette az előhívóban. Az egész technológiai folyamatot sárga fényű, UV szűrő fóliával ellátott ablakokkal rendelkező helyiségben végezzük, hogy a fotorezisztet csak a megvilágításakor érje UV fény.

5. Rajzolatgalvanizálás

A maszkkészítést követő rajzolatgalvanizáláskor a maszk által nem fedett rézfelületre kb. 25 μm vastag rézbevonatot, majd kb. 12 μm vastag ónbevonatot galvanizálunk (5. ábra). A galvanizáláskor a katódnak kapcsolt hordozóra akkora egyenáramot adunk, hogy a galvanizált felületen átlagosan 2...3 A/dm² áramsűrűség alakuljon ki. A réz galvanizálás célja, hogy a furatfémzés vastagságát legalább 25 μm -re növeljük, a galván ónbevonat pedig a maszk szerepét tölti be a szelektív maratás során. Az egyes lépések között ún. kaszkádöblítést alkalmazunk. A kaszkádöblítő egység két részből áll, ahol a hordozó haladási iránya a galvánsoron ellentétes az öblítővíz áramlásának irányával. Ennél az öblítési technológiánál hely- és víztakarókosabb a szórófejes öblítés, ahol a vízszugár mechanikai hatása fokozza a hatékonyságot. A szennyezett vizet szennyvíztisztító berendezésbe vezetjük, ahonnan a megtisztított víz a kommunális szennyvízcsatornába jut. A kellőképpen megtisztított, szűrt víz bizonyos technológiai célokra ismét felhasználható, így csökkentve a környezeti terhelést és a vízfelhasználást.

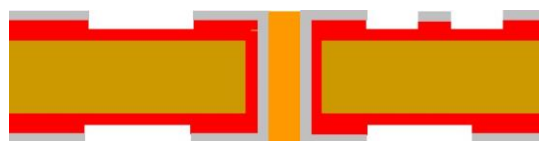


5. ábra. Hordozó a rajzolatgalvanizálás után

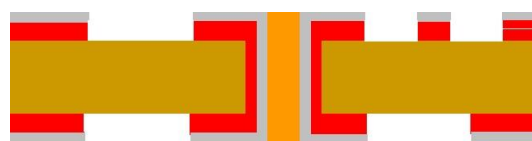
6. Maszkeltávolítás és maratás

A rajzolatgalvanizálás után lúgos oldatban eltávolítjuk a feleslegessé vált fotorezisztet (6. ábra). A fotoreziszt az eltávolításkor nem oldódik be a lemosó oldatba, a fotoreziszt szilárd, lemosó oldatban lebegő részei mechanikai szűréssel egyszerűen eltávolíthatók, a leszűrt lemosó oldat ezután a szennyvíztisztítóba vezethető.

A maratáskor az alaplemezen eredetileg meglévő, rendszerint 18 vagy 35 μm vastag rézfóliát és a furatfémzés során felvitt kb. 5 μm vastag galván réz bevonatot kell eltávolítani azokról a helyekről, ahol a galvanizált ón réteg nem védi az alatta lévő rézet a maratástól. Ekkor főképp olyan réteget távolítunk el, ami az első technológiai lépés előtt is a hordozón van, ezért az egész eljárást a kivonás szóból származó szubtraktív technológiának nevezik (7. ábra).



6. ábra. A feleslegessé vált fotoreziszt leoldása



7. ábra. Szelektív maratás

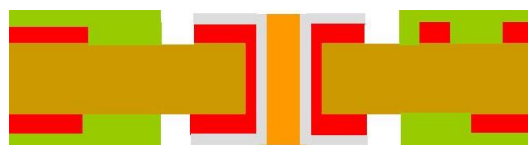
7. Forrasztásgátló maszk és szelektív forrasztható bevonat felvitele

Az alkatrészek forrasztása során előfordul, hogy a huzalozási pályákról el nem távolított ón hő hatására megolvad, és deformálódik a forrasztásgátló maszk. Ezt a jelenséget narancsosodásnak nevezik. Megelőzése érdekében a forrasztásgátló maszk felvitele előtt leoldják a huzalozási pályákon lévő ónbevonatot, így a forrasztásgátló maszk közvetlenül a rézfelületre kerül (8. ábra).

A forrasztásgátló maszk rendszerint fotoszenzitív lakk felhasználásával készül. Kétkomponensű, epoxigyanta alapú lakkot használunk, amely a fotoreziszt technológiához hasonlóan munkálható meg. A lakkot szitanyomtatással visszük fel a hordozó teljes felületére, azaz a szitanyomtatás ebben az esetben a mintázatot nem, csak a rétegvastagságot határozza meg. Ezután léggeverés kemencében megszáritjuk. Megvilágítás, majd előhívás után beégetjük. A forrasztási felületeket igény szerint szelektív bevonatokkal láthatjuk el: tűzi ón (HASL), immerziós ezüst, immerziós ón, nikkel-arany bevonat (ENIG), szerves-bevonatok (OSP) (9. ábra).



8. ábra. Az ónbevonat leoldása



9. ábra. Forrasztásgátló maszk és forrasztható szelektív bevonat felvitele

8. Kontúrmarás

A forrasztásgátló maszkkal ellátott nyomtatott huzalozású lemezt CNC géppel kontúrmarjuk. Ekkor kivágjuk a technológiai méretű lapon megvalósított áramköröket úgy, hogy a művelet után még kitörő fülek tartják egyben a lapot. Így a gépi alkatrész beültetés és forrasztás gazdaságosabb és egyszerűbb, mintha az áramköröket külön-külön kellene kezelni a későbbi technológiai műveletek során.

A kontúrmaráshoz használt programot CAM rendszerrel készítjük el, a program a maró útvonalat definiáló koordinátákon kívül fúróorsó felemelő ill. letevő, valamint forgácselszívó nyitó, záró parancsokat is tartalmaz. A munkaasztalon a lemezt azoknak a bázisfuratoknak a felhasználásával rögzítjük, amelyeket a CNC fúráskor készítettünk.

Ellenőrző kérdések

1. Mi a nyomtatott huzalozású lemezek funkciója?
2. Ismertesse a leggyakrabban alkalmazott hordozók felépítését és fontosabb tulajdonságait!
3. Adja meg az alábbi fogalmak definícióját:
 - pozitív működésű fotoreziszt,
 - negatív működésű fotoreziszt,
 - pozitív maszk,
 - negatív maszk.
4. Ismertesse a különböző nedveskémiai rétegfelviteli technológiákat!
5. Sorolja fel a kétoldalas furatfémezett nyomtatott huzalozású lemezek készítése során alkalmazott technológiai lépéseket!
6. Ismertesse a CNC fúrás jellemző technológiai paramétereit!
7. Ismertesse a maszkkészítés fontosabb lépéseit!

II. Vékonyréteg áramkörök előállítása és lézeres mintázatkialítás

A mérés célja: vákuumtechnikai és lézeres alkalmazások gyakorlati aspektusainak bemutatása a vékonyréteg áramkörök technológiáján keresztül.

A mérési feladat: alumínium vagy réz vékonyréteg leválasztása üveghordozóra, mintázatkialakítás lézerrel.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid ismertetése:

Vékonyréteg: vákuumeljárással (párologtatással vagy porlasztással) felvitt, tipikusan pár nanométer és pár mikrométer közötti vastagsággal rendelkező réteg, többnyire üveg vagy szilícium hordozón. (Optikai vékonyrétegeket visznek fel műanyagra is, kopásállóságot fokozó vékonyréteget fémekre.)

Általában a száz nanométer alatti vastagságú vékonyrétegekre jellemző, hogy valamely (elektromos, optikai, mechanikai) tulajdonságuk a réteg vastagsága (vékonysága) miatt eltérhet az anyag tömbi formájára jellemző tulajdonságoktól. (Az atomok mérete a 0,1 nm nagyságrendjébe esik, így a legvékonyabb vékonyrétegek jellemzően pár tíz atomi rétegből állnak.)

Vékonyrétegek alkalmazási területei:

- Hibrid vékonyréteg integrált áramkörökben vezeték- (Au, Cu), ellenállás- (NiCr, Ta) és dielektrikumrétegek (Al_2O_3 , SiO, SiO_2).
- Monolit integrált áramkörökben (szilícium IC) a szeletek fémezése (Al, újabban Cu).
- Kijelzőkben átlátszó fémezés (pl. ITO - Indium-Ón-Oxid) megvalósítására használják
- Optikai vezető ("fotonvezető") rétegekként is alkalmazzák, továbbá mivel a vékonyrétegek vastagsága a láthatófény hullámhosszával azonos nagyságrendbe (400 - 700 nm) is eshet, ezért a rétegszerkezetekben az interferencia jelenségét kihasználva speciális tükröző, szűrő, antireflexiós rétegek állíthatók elő (MgF, ZnS, SiO_2 , TiO_2).
- Dekoratív és kopásálló védőbevonatként is használatos (TiN, TiC, WC, SiO_2).

Vákuum: a légkörinél ($\sim 10^5$ Pa) alacsonyabb nyomást parciális vákuumnak, azt a nyomásértéket pedig, ahol az adott rendszerben a gázmolekulák annyira megritkulnak, hogy jellemzően már nem egymással történnek ütközések, hanem szinte kizárólag a határoló falakkal, vákuumnak nevezzük. A nyomás (p) csökkenésével a $pV = NkT$ egyetemes gáztörvényből is láthatóan a térfogat egységre eső részecskeszám (N) csökken (változatlan térfogat (V) és a hőmérséklet (T) mellett), aminek következményeként az átlagos szabad úthossz (a gárrészecskék által két ütközés között átlagosan megtett távolság) egyenesen arányosan növekedni fog. Az átlagos szabad úthossz légköri nyomáson kb. 50 nm. A párologtatás során viszont legalább egy nagyságrenddel nagyobb szabad úthosszra van szükség, mint a forrás és a hordozó távolsága (ami jellemzően pár tíz vagy száz milliméter), annak érdekében, hogy a forrásból kiszabaduló atomok ütközések nélkül, egyenes úton eljussanak a forrástól a bekészített hordozó(k)ra.

A vékonyrétegek felvitele nagyvákuumban vagy ultra nagyvákuumban történik, az eljárás módjától és a tisztasági követelményektől függően 10^{-3} - 10^{-10} Pa közötti nyomáson, ahol a szabad úthosszra pár méter, több száz vagy több ezer méter adódik.

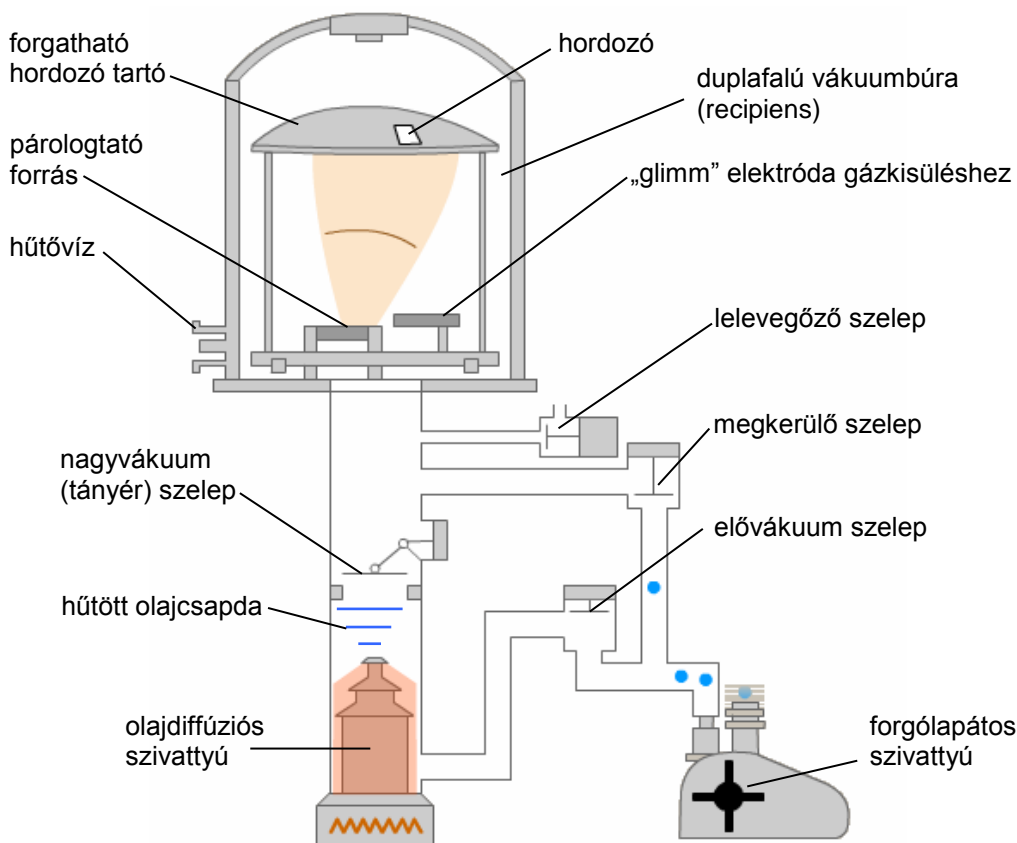
	P (nyomás)	L (átlagos szabad úthossz)
normál légköri nyomás	10^5 Pa	53 nm
durva vákuum		
	↓	
	1 Pa	5,3 mm
nagyvákuum		
	↓	
	10^{-5} Pa	530 m
ultranagyvákuum		
	↓	
	10^{-10} Pa	53000 km

A vákuum alatt történő rétegnövesztésnek köszönhetően a keletkező polikristályos szerkezetű réteg(ek) igen tiszták is lesznek, hiszen csak olyan atomok jutnak a hordozóra, melyeknek a forrását bekapcsoltuk.

Vákuumszivattyúk: a nagyvákuum eléréséhez 2 vagy 3 lépcsős szivattyúrendszerre van szükség. Elővákuum szivattyúnak többnyire forgólapátos (rotációs) szivattyút alkalmaznak, amely a térfogat leválasztás elvén működve 1 Pa körüli vákuum előállítására képes. Az excentrikusan elhelyezett forgólapátok és a szivattyúház által közrezárt térrészek térfogata a forgás során folyamatosan változik (félfordulatonként megnő, majd nullára csökken, megnő, majd nullára csökken és így tovább).

A nagyvákuum szivattyúk sok fajtája közül a laborban az olajdiffúziós nagyvákuum szivattyút alkalmazzuk. A háromszoros gyűrűszerű fűvókákon lefelé kilépő nagynyomású olajgőz-sugarba diffundáló N_2 és O_2 molekulák a náluk kb. tízszer nagyobb tömegű olajmolekulákkal ütközve a szivattyú kipufogó nyílása felé sodródnak.

Vákuumpárolgató berendezés: Egy elterjedten használt vákuumpárolgató berendezés felépítése az 1. ábrán látható. Első lépésben az elővákuum-szivattyú a megkerülő szelepen keresztül ~ 1 Pa nyomásra szívja a vákuumteret. Ezután a megkerülő szelepet lezárják, a diffúziós szivattyút pedig a tányérszelep megnyitásával a vákuumtérre kapcsolják, ami így nagyvákuumot (10^{-3} - 10^{-5} Pa) létesít. Az olaj bejutását a vákuumtérbe az olajcsapda nehezíti, mivel a kb. -18 °C-ra hűtött lemezeihez ütköző olajmolekulák 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. turbomolekuláris szivattyúkat alkalmazzák.



1. ábra. Vákuumpárolgató berendezés felépítése

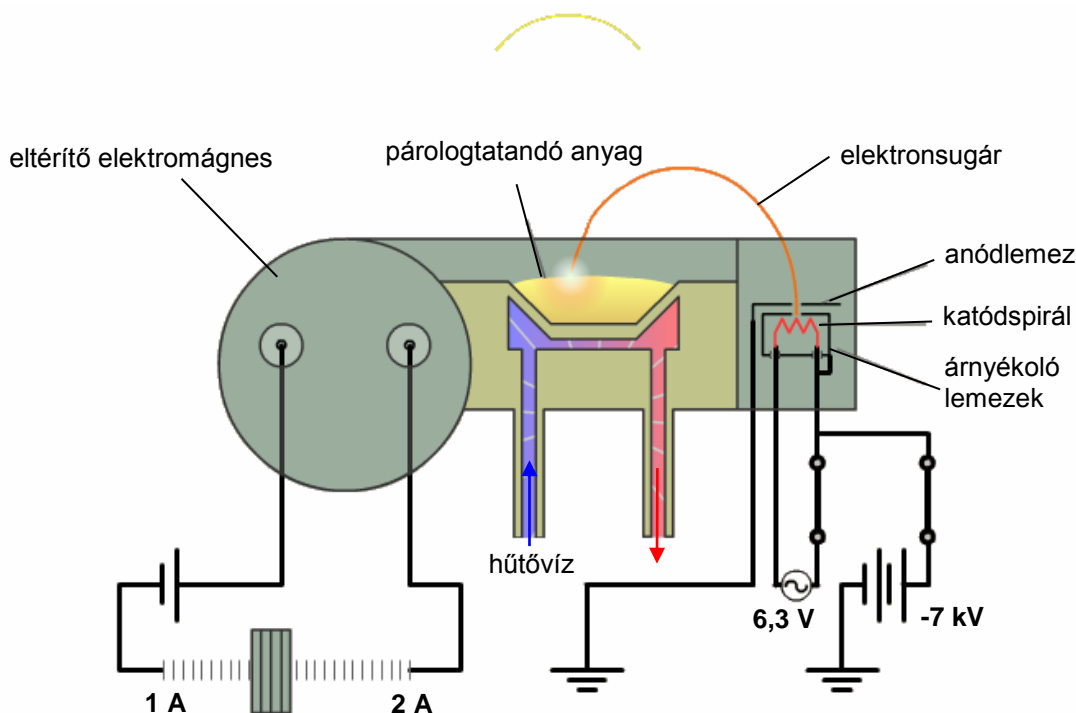
A hordozókat (mintákat) az egyenletes rétegvastagság kialakítása érdekében forgatható mintatartón helyezik el. A vákuumteret határoló búra, az alaplap, az árambevezetők és az elektronsugaras

párolgató forrás mind üregesek és a túlmelegedés megakadályozása érdekében áramló vízzel hűtöttek. A párolgató előtt a rétegépítést előkészítő felülettisztítás/felületaktiválás utolsó lépéseként, a hordozókat a felületen megtapadt gázoktól kis nyomáson létrehozott nagyfeszültségű (pár száz V) gázkisüléssel (ionbombázás, glimmelés) lehet megtisztítani. A gázkisülésben keletkező ionizálódó molekulák nagy sebességgel a hordozóba és a vákuumtérben lévő egyéb alkatrészekbe ütközve a felülethez tapadt (adszorbeált) részecskéket eltávolítják.

Vékonyréteg párolgató: A felvinni kívánt réteg forrását (jellemzően valamilyen tömbi anyagdarabot) többféleképpen hozhatjuk gőzfázisba. A cél minden esetben közös: a tömbi kristályszerkezetből atomokat meg kell olvasztani, hogy a párolgás beinduljon, B: ki kell használni a szilárd fázisból való szublimációt. A felépítendő anyagból kiszakadó atomok ütközés nélkül, egyenes vonalú mozgással jutnak el a forrás irányából minden általuk „látható” felületre, így a hordozóra is (de ugyanígy a vákuum búra belső falára, a hordozó tartóra és az esetlegesen használt fémmaszk alsó felszínére is).

Elektronsugaras párolgató: A tömbi anyag hevítése és ezzel olvadt állapotba hozása az elektronsugaras forrásnál az anyagba becsapódó elektronok mozgási energiájának hővé alakulásán alapul.

Az elektronsugaras párolgató forrás vázlatos felépítése a 2. ábrán látható. A működési elv a következő: egy elektronforrással, melynek elemei a katódspirál, az árnyékoló lemezek és egy anódlemez, elektronnalábott állítunk elő, ezt a nyalábot pedig mágneses térrel a megolvasztandó anyagba irányítjuk.



2. ábra. Elektronsugaras gőzforrás felépítése

A konstrukció egyes elemei:

- A nyalábeltérítő mágneses teret egy állandó mágnes teréhez szuperponált elektromágnes által keltett, tehát állítható nagyságú mágneses tér adja. Azért dolgozunk körívbe görbített elektronnalábbal, hogy a felizzított és több kV negatív feszültségre kapcsolt elektronsugárforrás (katód) ne legyen elérhető a párolgató anyag atomjaiból egy-egy külső elektron kiütésével keletkező, tehát pozitív töltésűvé váló ionok számára. De a görbített nyalábgéometriából adódóan nem kerülhetnek a

katódra az elgőzölődő atomok sem, mivel azok egyenes vonalon mozognak két ütközés között. Így a katód élettartama nem csökken a kikapcsolás utáni esetleges felületi elszennyeződések/gőzlerakódások miatt sem.

- Az elektronforrás jellemzően egy fűtött, negatívan (pl. -7 kV) előfeszített wolfram katódon, egy ezzel közel azonos potenciálon levő árnyékoló lemezből és egy földelt anódlemezből áll. Az izzítás célja az elektronok kilépési munkájának lecsökkentése, az egyes lemezek geometriája és potenciálja pedig az elektronok nyaláb formában való kinyerését és gyorsítását szolgálja.

Vékonyrétegek mintázat kialakítása: A hordozóra felvitt vékonyréteg mintázatának kialakítására többféle, egyéb technológiákban is ismert módszer alkalmazható. Ezek közül kiemelendő a fotolitográfia és a közvetlen (pl. lézeres) mintázatkialakítás. A vékonyrétegek esetén azonban van még egy további lehetőség is, amely már a rétegleválasztás során lehetővé teszi a mintázat kialakítását, így a hordozó felületén csak a kívánt helyre választjuk le (növesztjük rá) a réteget. Az utólagos mintázatkialakítás összetett lépéssorozatát kihagyhatjuk a gyártási folyamatból, ha a hordozó felületének egyes részeit már a párologtatás során kitakarjuk egy fémmaszk (apertúrákat tartalmazó fémfólia) segítségével.

A laborgyakolat során elsősorban a közvetlen, lézeres mintázatkialakításra fogunk példát mutatni. A „közvetlen” jelző ebben az esetben arra utal, hogy a lézerrel magát a réteget fogjuk megmunkálni (eltávolítani), teljesen mellőzve a fotolitográfiát. Közvetett lenne a módszer, ha a lézert a fotolitográfia eszközeként fotoreziszt levilágítására használnánk, amelyet a vékonyrétegre vihetnénk fel.

Lézer: Az angol LASER betűszó (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) az indukált emisszió általi fényerősítést fedi. Az itt nem részletezett fizikai folyamatok az optikai rezonátort alkotó tükörpár, a közepük elhelyezett optikailag aktív közeg (pl. lézerkristály) és az ezt „pumpáló” energiaforrás (pl. fényforrás) révén hoznak létre közel monokromatikus (egyszínű), és kis divergenciájú (széttartású) nyalábot. Mindkét említett tulajdonság fontos szereppel bír az anyagmegmunkáló lézerek esetén is.

A nyaláb monokromatikus, mivel a lézerek általában egy adott hullámhosszon sugároznak. A hullámhosszt az aktív közeg anyaga és a rezonátor geometriai felépítése határozza meg. Az ipari anyagmegmunkálás gyakorlatában csak néhányfajta aktív anyagot (pl. Nd:YAG /ejtsd: neodímium-jag/ kristályt vagy CO₂ gázt) alkalmaznak, mivel az ezeken alapuló lézerforrások gazdaságosan üzemeltethetők.

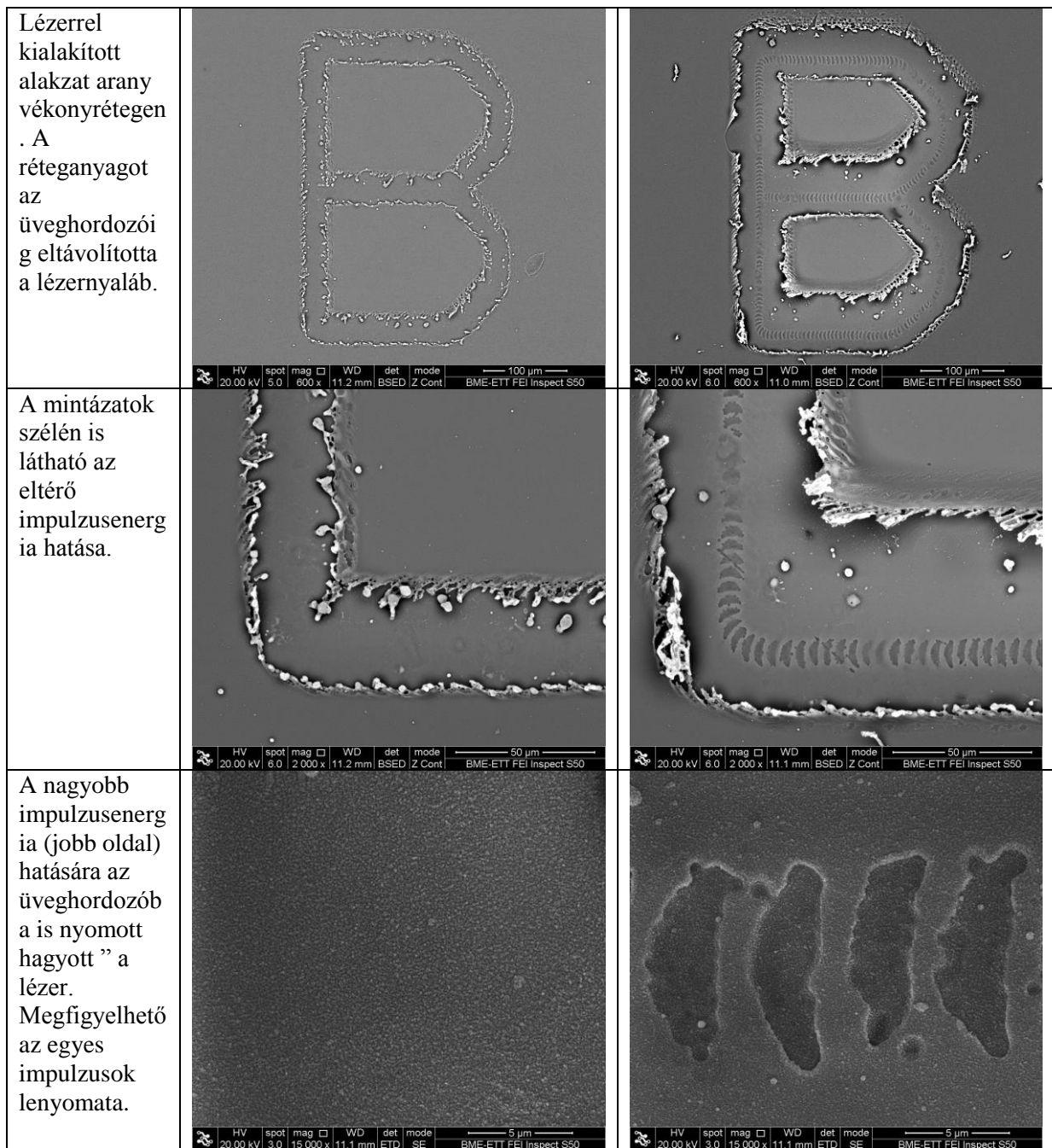
Speciális alkalmazási területeken (pl. félvezető technológia, gyógyászat stb.) többnyire nem a hatások a fő kiválasztási szempont: a lézernyaláb és a megmunkálandó anyag közötti kölcsönhatást meghatározó fizikai és kémiai hatásmechanizmusok kerülnek előtérbe, és a nyaláb hullámhosszának ebből a szempontból alapvető jelentősége van. Az egyes anyagok eltérő mértékben lépnek kölcsönhatásba a különböző hullámhosszúságú sugárzásokkal. Általában elmondható, hogy az elektronikai technológiában használatos anyagok nagy része is az UV tartományba eső hullámhosszú fotonokat nyeli el jobban, míg a látható vagy az infravörös tartományba esőket kevésbé. A hatékony lézeres anyagmegmunkálás kulcsa pedig az energiát közlő fotonok elnyelése. Ha a fotonokat az anyag nagyrészt átengedi magán, vagy annak felülete reflektálja azokat, akár nagyságrendekkel nagyobb teljesítménysűrűsége lesz szükség ahhoz, hogy a csekély elnyelt energiával meg tudjuk munkálni az anyagot. A fent említett Nd:YAG lézer és a CO₂ lézer is az infravörös tartományban működik. Az elnyelés szempontjából ezek a lézerek tehát nem ideálisak, de könnyen megépíthetők a kívánt teljesítményű konstrukcióban.

A lézernyaláb másik fontos tulajdonsága a nyaláb kis széttartása. A közel párhuzamos nyalábot általában fókuszálják a megmunkálandó felületre (vagy térfogatra). Így az energiát térben koncentrálnak, akár olyan energiasűrűséget elérve, amely bizonyos, anyagra jellemző küszöbértéket meghaladva pl. az anyag eltávolításához vezet. Szándékosan nem használjuk az „elpárologtatás” vagy „elforrálás” kifejezéseket, mivel a lézer és az anyag kölcsönhatása – különösen az impulzus üzemmódban működő lézerek esetén – rendkívül összetett. A szakirodalom az abláció kifejezéssel utal mindazon folyamatok összességére, amelyek az anyag eltávolítását eredményezik. (Az abláció elhordást jelent.)

II. Vékonyréteg áramkörök előállítása és lézeres mintázatkialítás

A lézer-anyag kölcsönhatás összetettségét jól mutatja, hogy például a BME-ETT impulzusüzemű lézérének jellemző impulzushossza 40 ns, tehát ennyi idő alatt csatolódik be az anyag meghatározott térfogatába egy lézerimpulzus energiája, pl. 100 μJ (Ez $100 \mu\text{J}/40 \text{ ns} = 2,5 \text{ kW}$ impulzusteljesítményt eredményez). Mivel az impulzusenergia becsatolása alatt a kölcsönhatás már elindul (és akár le is zajlik), akár $10^{10} \text{ }^\circ\text{C/s}$ melegítési sebesség is adódhatna. Ilyen értékeknél viszont a klasszikus termodinamikai összefüggések már nem alkalmazhatók. A lézer-anyag kölcsönhatás eredményeképpen létrejött mikrostruktúrák tanulmányozásakor ugyan felfedezhetünk olvadásra, forrásra utaló nyomokat (pl. szétfröccsent anyagmaradványokat a megmunkálás közeli felületen), de ezek térfogata általában nagyságrendekkel kisebb az eltávolított anyagénál. Az eltávolított anyag nagy része valószínűleg szublimál.

Az alábbi ábrásorozat üvegre felvitt arany vékonyrétegben kialakított mintázat részleteit mutatja. A nyalábeltérítő fej mindkét esetben ugyanazon az útvonalon vitte végig a lézernyalábot, de két különböző impulzusenergiával.



A lézer-anyag kölcsönhatás részleteinek feltárását megcélzó kutatások a felfedezés (1960) óta napjainkig aktívan zajlanak.

Példák lézeres alkalmazásokra az elektronikai technológiában:

Nyomatott huzalozású lemezek technológiája:

- lézeres via-készítés: elsősorban 100 mikron alatti átmérőjű furatokhoz és zsákfuratokhoz,
- lézeres direktlevilágítás (Laser Direct Imaging): a fotolitográfia során használt fotoreziszt gyártófilm nélküli, pásztázó módú levilágítása,
- lézeres direktmegmunkálás (Laser Direct Structuring): a rézréteg fotolitográfia nélküli, közvetlen lézeres eltávolítása.

Felület- és furatszerelési technológiák:

- lézeres pasztamagasság mérés,
- lézeres stencilvágás: napjainkra gyakorlatilag kiszorította az az egyéb stencilkialakítási technológiákat,
- lézeres forrasztás: az egyik szelektív forrasztási technológia, amellyel hőre érzékeny alkatrészek, máshogy nehezen elérhető egyedi forrasztási pozíciók, vagy a forrasztási folyamat egyszerű gyártósorba integrálása szükséges.

Rétegellenállások (vékony- és vastagréteg):

- ellenállás értékbeállítás lézeres vágatokkal (chipalkatrészek esetén is, hiszen azok is hasonló technológiával készülnek)

A gyakorlat során elvégzendő feladat:

1. Fémréteg (réz vagy alumínium) párologtatása üveg hordozóra elektronsugaras párologtatóforrással, fémmaszkon keresztül
2. További mintázat kialakítása a fémrétegen frekvenciaháromszorozott Nd:YAG lézer segítségével, 355 nm-es hullámhosszon
3. A mintázatok tanulmányozása

Ellenőrző kérdések:

1. Milyen jellemzők alapján nevezünk egy réteget vékonyrétegnek?
2. Milyen okai vannak annak, hogy a vékonyrétegeket nagyvákuumban hozzák létre a hordozón?
3. Milyen módon működik az elektronsugaras párologtatóforrás?
4. Milyen mintázatkialakítási módszerek jellemzőek a vékonyrétegek technológiájában?
5. Mi az oka annak, hogy a lézeres anyagmegmunkálás során végbemenő folyamatok megértése még napjainkban is intenzív kutatások tárgya?

III. Passzív hálózatok készítése vastagréteg technológiával

A mérés célja: a vastagréteg paszták felviteli technológiájának, a paszták hőkezelési eljárásának valamint a diszkrét alkatrészek vezető ragasztóval történő rögzítésének megismerése.

A mérési feladat: egy egyszerű áramkör huzalozási pályájának megvalósítása polimer vastagréteg technológiával flexibilis poliészter hordozóra, majd az elkészült hordozón diszkrét alkatrészek rögzítése vezető ragasztóval. Az elkészült áramkör élesztése és bemérése.

A mérés elvégzésével megszerezhető képességek: a szitanyomtató berendezés felépítésének és működtetésének, a vastagréteg technológia folyamatainak, valamint az izotróp és anizotróp vezető ragasztók alkalmazásának a gyakorlati megismerése.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid meghatározása:

Hibrid IC: vezető pályákat, passzív (R, L, C) hálózatot tartalmazó, vastag- vagy vékonyréteg technológiával szigetelő hordozóra készített áramkör, amelyre hibrid (diszkrét passzív és monolit aktív) alkatrészeket szerelünk felületszerelési és/vagy direkt chip beültetési technológiával.

Vastagréteg: 5-50 μm vastagságú réteg, amelyet szitanyomtatással és hőkezeléssel paszta viszkozitású anyagból hoznak létre, általában kerámiára (ritkábban üvegre, szilíciumra, passzivált fém-felületre) vagy műanyag hordozóra.

Vastagréteg hordozók: vastagréteg áramköröket előre elkészített hordozókon hozzuk létre:

- kerámiák (szervetlen és szerves pasztákhoz),
 - alumínium-trioxid (Al_2O_3)
 - berilium-oxid (BeO)
 - alumínium-nitrid (AlN)
- passzivált fémhordozók (szervetlen és szerves pasztákhoz),
- műanyagok (csak szerves pasztákhoz):
 - epoxi alapú flexibilis vagy merev (pl. üvegszál erősítésű FR4) hordozók
 - poliimid fólia
 - poliészter fólia

Az elterjedten alkalmazott kerámia hordozók előnyei például a jó hőállóság, kis hőtágulás és alacsony permittivitás, ami előnyössé teszi a teljesítmény és nagyfrekvenciás áramkörökhöz történő alkalmazásukat. Az olcsó flexibilis fóliák kiválóan használhatók kevésbé igényes áramkörök (pl. klaviatúrák) kialakításához, mozgó elemek összekötéséhez, ill. 3 dimenzióban hajlított-hajtogatott egységek megvalósításához.

Vastagréteg paszták: kolloid szuszpenziós anyagok a következő összetevőkkel

- funkcionális fázis (amely a vastagréteg alaptulajdonságait szabja meg),
- szervetlen és/vagy szerves kötőanyag,
- oldószerek.

A rétegben visszamaradó kötőanyag típusa szerint megkülönböztetünk:

- szervetlen (üveg, üveg-kerámia, ill. reaktív) vastagréteg pasztákat,
- szerves (polimer) vastagréteg pasztákat.

A két technológia között lényeges különbségek vannak az alkalmazott anyagok, hordozók és hőkezelési eljárások szerint.

A vastagréteg áramkörök a huzalozási pályákon kívül integrált áramköri elemeket is tartalmazhatnak.

Vastagréteg integrált alkatrészek: a vastagréteg áramkörökben megvalósítható passzív alkatrészek a következők:

- huzalozási pályák,
- huzalkereszteződések és szigetelő rétegek (többrétegű struktúrák),
- kontaktus felületek (a kivezetők és a beültetésre kerülő diszkrét alkatrészek számára),

- ellenállások (állandó értékű, hőmérsékletfüggő NTC és PTC, feszültségfüggő típusok),
- kondenzátorok,
- induktivitások.

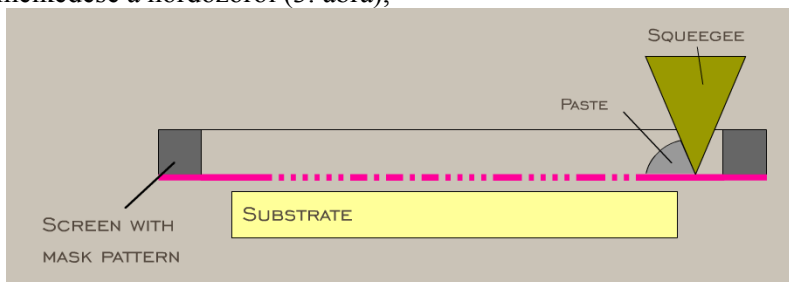
A rétegeket a különböző tulajdonságú vastagréteg paszták egymás utáni nyomtatásával hozzák létre. Nagy helyigényük és nagy gyártási szórásuk miatt a kondenzátorokat és induktivitásokat csak ritkán állítják elő integrált formában, helyette inkább diszkrét alkatrészeket alkalmaznak. A diszkrét alkatrészeket forrasztással vagy vezető ragasztó segítségével rögzítik a kontaktus felületekhez. A vastagréteg áramkörök felszínére tokozatlan chip-ek is ültethetők, amelyeket általában huzalkötéssel csatlakoznak, majd „glob-top” (védőréteges lecseppentés) tokozási technológiával védenek a külső behatásoktól. Az integrált alkatrészek pontossága lézeres értékeállításal javítható.

Szitanyomtatási technológia:

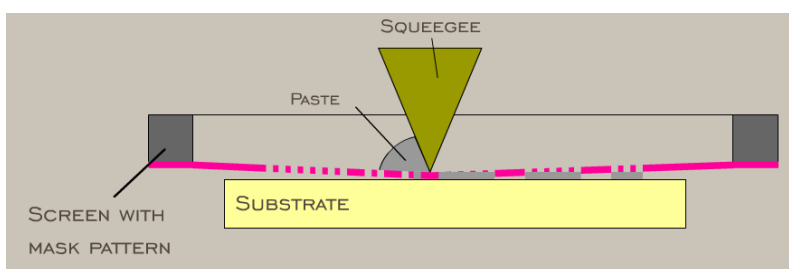
A szitanyomtatás a vastagréteg paszták egyik leggyakoribb és legegyszerűbb felviteli eljárása. A művelet szitanyomtató berendezéssel végezhető. A pasztát egy keretre feszített szitaszöveten keresztül, nyomtató késsel egyenletes sebességgel és erővel visszük fel a hordozó felületére. A szita anyaga rozsdamentes acél vagy műanyag. A szitaszöveten a kitakarandó helyekre emulziós vagy fémmaszkot visznek fel, ami meggátolja a paszta átjutását a szitán.

A szitanyomtatás lépései:

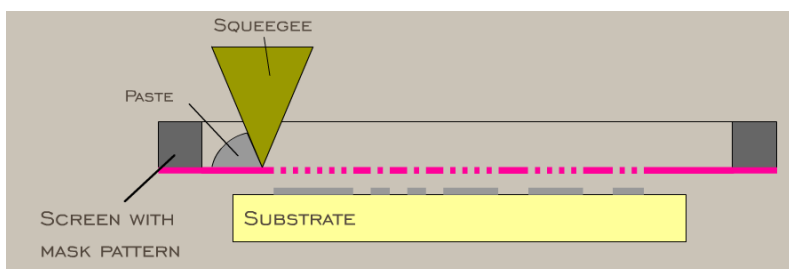
1. a szita behelyezése és rögzítése a szitanyomtató berendezésbe,
2. a hordozó elhelyezése minden nyomtatás előtt a szitanyomtató berendezés asztalán,
3. a vastagréteg paszta felkenése a szitára (10-20 nyomtatásra elegendő),
4. pozicionálás (1. ábra),
5. a nyomtatókés végig görgeti a pasztát a szitán (2. ábra),
6. A szita felemelkedése a hordozóról (3. ábra),



1. ábra. A szita pozicionálása a hordozó fölé



2. ábra. A paszta nyomtatása



3. ábra. Az eljárás végén a kés és a szita felemelkedik

A vastagréteg paszták hőkezelési eljárásai:

Minden egyes technológiai lépés után megjelöltük, hogy a polimer (P) és/vagy szerves (I) alapú technológiához tartozik-e.

a.) A felvitt rétegek pihentetése szobahőmérsékleten, 5...10 percig (P,I)

A nyomtatott pasztának időre van szüksége a hordozón való megfelelő elterüléshez.

b.) Szárítás (P,I)

A művelet konvekciós vagy infra szárítószekrényben végzik hozzávetőleg 10...15 percet vesz igénybe. A szárítási hőmérséklet 120-150 °C. A művelet célja, hogy az oldószerek eltávozzanak a felvitt rétegből.

c.) A vastagréteg paszta beégetése

- I: szerves paszták esetén 750 – 950 °C-on végzik, a tipikus ciklus idő 40 - 60 perc, többzónás alagút kemencében.
- P:
 - o „termo-plast” paszták poliészter hordozón: 120 °C-on, 15 percig,
 - o „termo-set” paszták poliimid hordozón: a szárítás után a beégetés 180 – 350 °C-on, 100 – 180 percig történik,
 - o UV rendszerű paszták: UV megvilágítás után, 120 – 150 °C-on 15 – 60 perces beégetés szükséges.

A nyomtatás/szárítás/beégetés fázisai szekvenciálisan ismétlődnek minden egyes pasztára, amit az adott áramkörhöz alkalmazunk. Eközben lehetőség van az integrált ellenállások lézeres értékbeállítására, amennyiben azok pontossága nem felel meg az alkalmazás követelményeinek. A lézeres értékbeállítás növelheti a gyártási költségeket.

Polimer vastagréteg áramkörök

Napjainkban a polimer vastagréteg technológia tekinthető a leginkább költségkímélő vastagréteg technológiának. A vezető és kontaktus pasztákban ezüst és/vagy réz, míg az ellenállás és szigetelő pasztákban grafit szolgál funkcionális fázisként.

A polimer vastagréteg technológia előnyei:

- olcsó előállítás,
- alacsony beruházási költségek,
- kevesebb technológiai lépés,
- kis hőterhelés a gyártás folyamán,
- flexibilis hordozók alkalmazhatósága,
- kevésbé környezetszennyező (kevesebb szerves oldószer a pasztákban).

A polimer vastagréteg technológia hátrányai:

- rövidebb élettartam,
- nagy technológiai szórás, alacsonyabb megbízhatósági szint,
- alacsonyabb mechanikai és termikus szilárdság.

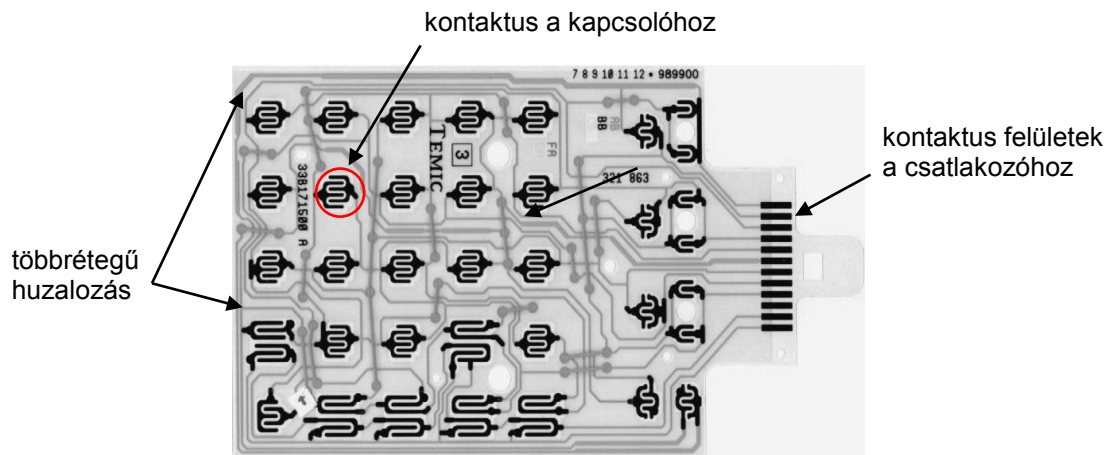
Az 1. táblázatban összehasonlítjuk a polimer és a kerámia vastagréteg paszták néhány jellemző tulajdonságát.

1. táblázat. Kerámia és polimer vastagréteg paszták fizikai tulajdonságai

Paraméter	Kerámia vastagréteg	Polimer vastagréteg
TK ppm/°C	±50...±100	±200...±500
Ellenállás-szórás, %	±20...±30	±70...±100
Stabilitás (1000h) %	<0,5 (150 °C)	<3...5 (80 °C)
Vonalfelbontás, mm	0,2...0,1	0,5...0,3
Költség	közepes	alacsony

Polimer vastagréteg alkalmazások: a polimer vastagréteg technológia nagyarányú elterjedését az egyszerűségének és olcsóságának köszönheti, azonban korlátozott megbízhatósága nagyban behatárolja az alkalmazási területeit (főleg az alacsonyabb minőségi követelményű tömegtermékekre):

- szórakoztató elektronikák kevésbé igényes passzív hálózatai merev NYHL-en,
- hajlékony összeköttetés-hálózatok mozgó elemekhez (nyomtató, HD meghajtó, kamera),
- autóelektronika: tükör- és ülésfűtő fóliák,
- specialitások: intelligens címkék,
- billentyűzetek (4. ábra).



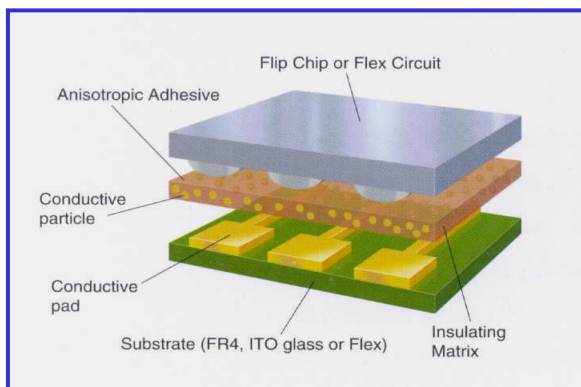
4. ábra. Egyszerű polimer vastagréteg billentyűzet

Diszkrét alkatrészek szerelése ragasztással

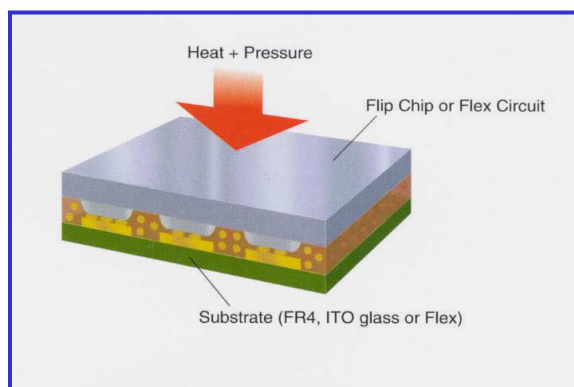
Ennél az alkalmazási területnél a ragasztásnak a mechanikai rögzítésen kívül villamos kontaktust is biztosítani kell a diszkrét alkatrész és a vastagréteg áramkör között. A követelményeknek megfelelően villamosan vezető ragasztókat alkalmazunk. A vezető ragasztók két alap fázisból épülnek fel, amelyek a **műgyanta** és az abba szuszpendált **vezető fázis**. A vezető ragasztók többféle szempont szerint csoportosíthatók (kiviteli típus szerint, összetétel szerint, műgyanta anyaga szerint stb...), de mi ezt most a vezető ragasztó vezetési tulajdonságai alapján tesszük meg. Ezek szerint megkülönböztetünk **izotróp** és **anizotróp** vezető ragasztókat.

Az izotróp vezető ragasztók vezetési tulajdonságai – mint az elnevezésük is utal rá – minden irányban azonosak. Az alap műgyantába (epoxi vagy poliimid) keverik a vezető fázist, amit ezüst, arany vagy nikkel szemcsék alkotnak. Ezek a tér minden irányába vezetik az elektromos áramot. Az izotróp ragasztók 140...150 °C-on 30 perces, 130 °C-on 60 perces míg 90...120 °C-on 90...120 perces időtartamú hőkezelést igényelnek. A kiviteli formájuk általában paszta. A gyakorlat során a diszkrét alkatrészek rögzítésére, paszta formájú izotróp vezető ragasztót alkalmazunk.

Az anizotróp ragasztók csak a tér egyik (z) irányában vezetik az elektromos áramot. Általában műgyantába (pl. epoxi, poliimid) kevert vezető (pl. ezüst), vagy vezetővel bevont (pl. arany bevonatú kerámia) gömböcskékből állnak. Kiviteli formájuk a film. Az anizotróp vezető hatást úgy érik el, hogy a vezető golyócskákat szabályosan, mátrixos elrendezésben ágyazzák be a hordozó fóliába. A mátrix minden egyes cellájában csak annyi golyó található, hogy x-y irányba összenyomva se tudjanak rövidzárat okozni. Az 5. és 6. ábrákon egy flip-chip IC anizotróp vezetőragasztóval történő bekötése látható. A nyomás és a hő hatására a folyékonyra vált ragasztó felesleg kifolyik a hézagokból. Az áramvezető gömböcskék beszorulnak a kontaktus felületek közé, és azokat villamosan összekötik, oldalirányban azonban nem jön létre villamos kontaktus.



5. ábra. Az anizotróp ragasztófilm elhelyezése az áramkör és a hordozó között



6. ábra. Az anizotróp ragasztó hőkezelése

A diszkrét alkatrészek szerelése forrasztással

A diszkrét alkatrészek a ragasztás mellett a felületszerelési technológiában alkalmazott újraömllesztés (reflow) forrasztási technológiával is rögzíthetők a vastagréteg áramkörök felületén. A vastagréteg kontaktus felületek kedvezőtlen nedvesítési tulajdonságai miatt egyre inkább a vezető ragasztókat részesítik előnyben.

A gyakorlati feladat:

A gyakorlati feladat egy hibrid polimer vastagréteg áramkör elkészítése. Az áramkör huzalozási pályáját polimer Ag vezető pasztából készítjük poliészter fóliára, majd erre izotróp vezető ragasztó segítségével szereljük a diszkrét alkatrészeket.

Az áramkör elkészítésének lépései:

1. A vezetőréteg szitájának behelyezése a szitanyomtató berendezésbe.
2. Poliészter fólia behelyezése a szitanyomtató berendezésbe.
3. Vezető paszta felhelyezése a szitára.
4. Pozicionálás, szitanyomtatás: a beállítandó paraméterek: kés nyomóerő, nyomtatási sebesség, szita-hordozó távolság.
5. Paszta nyomtatása.
6. A felnyomtatott réteg kikeményítése az előmelegített kemencében (120 °C-on 10 percig).
7. A szita és a nyomtató kés oldószeres mosása, tisztítása.
8. A poliészter fólia darabolása.
9. A vezető ragasztó felcseppentése (diszpenzálása) a kontaktus felületekre.
10. Alkatrészek beültetése egy kézi „Pick & Place” beültető segítségével.
11. A ragasztó kikeményítése (140 °C-on 30 percig).
12. Az áramkör működésének ellenőrzése.

A hordozófólia tulajdonságai: a hordozó anyaga poliészter műanyag fólia, amely elfogadható termikus és mechanikus tulajdonságokkal rendelkezik a számunkra szükséges hőmérsékleti tartományban (+20...+130 °C).

2. táblázat. A poliészter hordozófólia tulajdonságai

Jellemző	Érték
Vastagság	100...200 µm
Húzószilárdság (v = 23 µm)	200 MPa
Sűrűség	1,4...1,5 g/cm ³
Olvadáspont	150...250 °C
Hőtágulási tényező (30...50 °C)	27 ppm/°C

Az Ag vezetőréteg paszta tulajdonságai: a poliészter fóliára a vezetőlátozatot a DuPont gyártmányú DP5025 típuszámú polimer ezüst vezetőréteg pasztából alakítjuk ki. A paszta főbb tulajdonságai:

3. táblázat. Az Ag vezetőpaszta főbb tulajdonságai

Jellemző	Érték
Négyzetes ellenállás ($v = 25 \mu\text{m}$)	12...15 m Ω
Szita anyaga	rozsdamentes acél vagy műanyag
Szita típusa	indirekt emulziós
Szitaszövet mesh száma	325
Nyomatási rétegvastagság	25...50 μm
Beszárítási körülmények	120 °C-on 5-6 percig

A vezető ragasztó tulajdonságai: a diszkrét alkatrészek rögzítésére a Heraeus cég PC3000-es thermoset (hőre keményedő) polimer-ezüst vezető ragasztóját használjuk. A ragasztó izotrop vezetési tulajdonságú, egy komponensű, illékony oldószertől mentes és paszta kivitelű. A ragasztó főbb tulajdonságai:

4. táblázat. A PC3000 vezető ragasztó főbb tulajdonságai

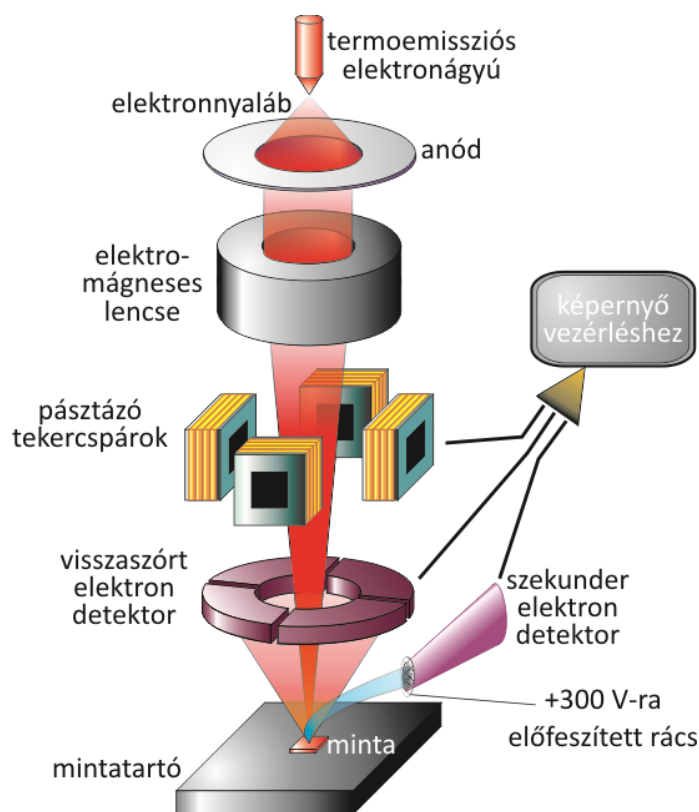
Jellemző	Érték
Ag tartalom	83 \pm 1,5%
Sűrűség	4,4 g/cm ³
Hővezetés	> 5 W/m*K
Tapadás	> 8,5 N/mm ²
Hőmérsékleti stabilitás	180 °C
Térfogati ellenállás	< 0,2 m Ω *cm
Fedés	100 cm ² /g

Ellenőrző kérdések:

1. Mi a vastagréteg definíciója?
2. Sorolja fel a vastagréteg áramkörök jellemző alkalmazási területeit, különös tekintettel a polimer vastagrégegekre!
3. Mi a szitanyomtatás szerepe a vastagréteg technológia során?
4. Váolja fel a szitanyomtatás lépéseit!
5. Ismertesse a polimer vastagréteg technológia fő lépéseit!
6. Ismertesse a vezető ragasztók típusait, szerkezetét és alkalmazásukat!

IV. Pásztázó elektronmikroszkópia

Bevezetés: A pásztázó elektronmikroszkóp (Scanning Electron Microscope, SEM) olyan berendezés (1. ábra), amelyben egy fókuszált, jellemzően több 10 keV energiájú elektronnyaláb végigpásztázza a vizsgálandó test felületét. Ennek a sugárzásnak a hatására többek között elektronok lépnek ki a minta felszínközeli rétegeiből. A pásztázással szinkronban – a hagyományos analóg rendszerekben - egy másik elektronnyaláb egy katódsugárcső (monitor) képernyőjét pásztázza, a mintából kilépő elektronok számával arányos intenzitással. Így a monitoron megjelenik a próbatest felszínének képe. A nagyítást a két pásztázás méretaránya adja.



1. ábra: A pásztázó elektronmikroszkóp felépítése

A pásztázó elektronmikroszkóp népszerűsége elsősorban az elérhető nagyításnak és mélységélességnek köszönhető. Az optikai mikroszkóppal szemben, amellyel jellemzően maximum 2000-szeres nagyítás érhető el (ilyen nagyításnál sajnos már mikrométer alatti mélységélességgel), a SEM nagyítása elérheti a 200000-szerest, mélységélessége pedig akár a 3-4 mm-t is. Így rendkívül plasztikus, már-már térhatásúnak tűnő képek (2. ábra) készíthetők vele. A következőkben röviden áttekintjük a pásztázó elektronnyaláb és a minta felszínének kölcsönhatását, a képalkotáshoz szükséges detektorokat, valamint az elemösszetétel analízis lehetőségét.

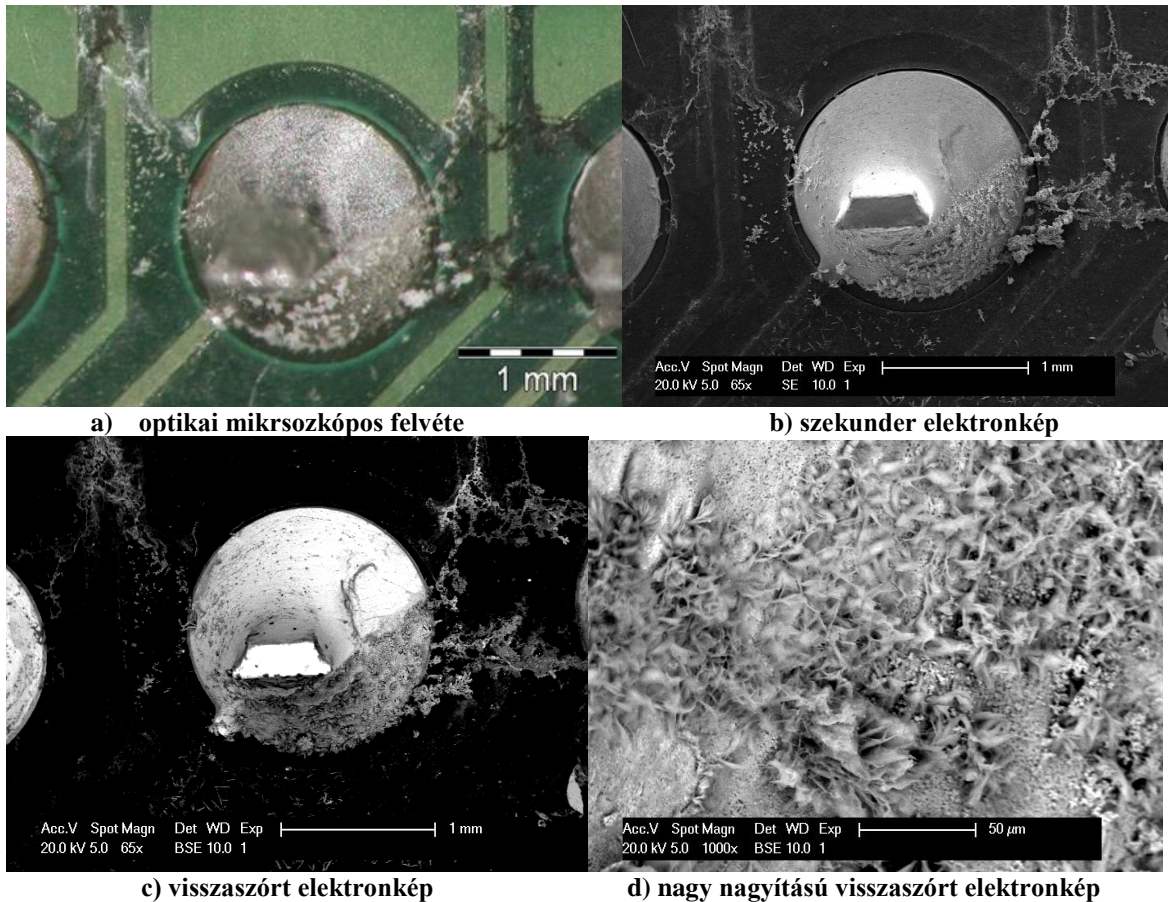
Elektron-anyag kölcsönhatás

A beérkező elektronnyaláb a minta anyagával kölcsönhatásba lépve egy sor, az anyagra jellemző válaszjelet hoz létre.

1. Szekunder elektronok

A mintából kilépő, 50 eV-nál kisebb energiájú elektronokat szekunder elektronoknak nevezzük. Túlnyomó részük úgy keletkezik, hogy a besugárzó nyaláb elektronjai leszakítják a minta atomjainak legkülső héján lévő, viszonylag lazán kötött elektronokat.

A szekunder elektronok (kis energiájuk miatt) csak a minta legfelső 5-50 nm vastagságú rétegeiből képesek kijutni. Emiatt a szekunder elektronok dekektálásán alapuló képalkotási módszer rendkívül érzékeny a felület egyenetlenségeire és nagy felbontású felvételek készítését teszi lehetővé (2.b ábra)



2. ábra: NYHL lemez forrszemei között kialakult migrációs dendritek optikai és elektronmikroszkópos képei

2. Visszaszórt elektronok

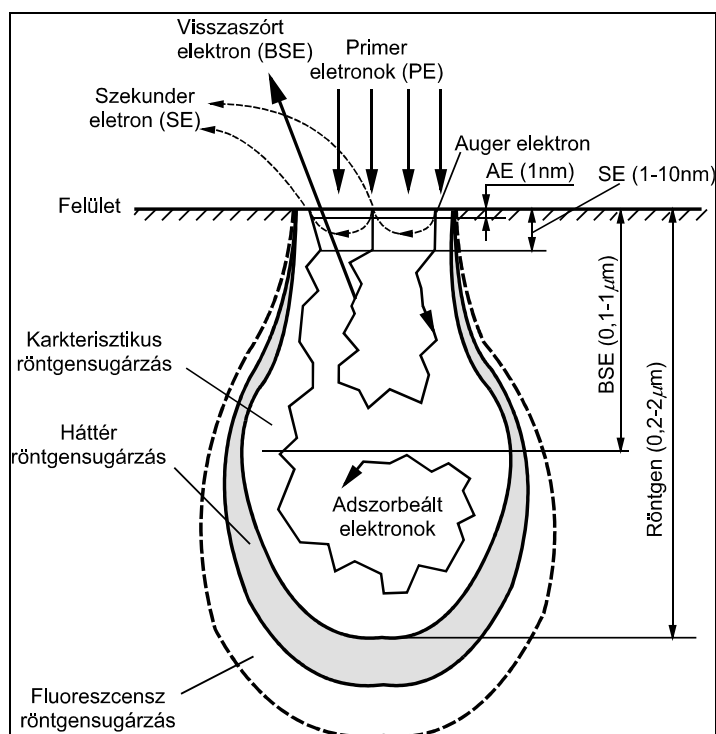
A belépő elektronnyaláb elektronjai (primer elektronok) rugalmasan szóródnak a minta atomjainak Coulomb-terében. A szóródás eredményeként a primer elektronok egy része kijut a mintából. Ezeket hívjuk visszashórt elektronoknak. Energiájuk akár a primer elektronok energiájának nagyságrendjébe is eshet. A visszashórt elektronok száma - egyebek mellett - a minta atomjainak rendszámától is függ: a nagyobb rendszámú atomok nagyobb visszashórási hányadot eredményeznek. Emiatt a visszashórt elektronokból előállított képen a nagyobb átlagos rendszámú területek világosabbnak látszanak (2.c ábra). A visszashórt elektronok segítségével alkotott kép felbontása sajnos nem érheti el a szekunder elektronokkal alkotott képét, mivel a visszashórt elektronok nagy energiája révén a minta nagyobb térfogatából (így nagyobb mélységből is) képesek a felszínre jutni. Így a felület finom egyenetlenségei sem képezhetők le segítségükkel a szekunder elektronokéhoz hasonló eredménnyel.

3. Karakterisztikus röntgensugárzás

Az elektronnyaláb elektronjai képesek a minta atomjainak valamelyik belső elektronpályájáról is elektront kiűteni. Az így megüresedő elektronpályára egy külsőbb héjon lévő elektron "visszaugorhat". Az így felszabaduló energia (a külső és a belső elektronpálya energiáinak különbsége) röntgenfoton formájában kisugárzódhat. Mivel egy adott atomfajtánál az

elektronpályák energiái meghatározott értékűek, a kisugárzott röntgenfoton energiája (illetve az $E = hv = hc/\lambda$ egyenlet alapján a hullámhossza) jellemző lesz az adott atomfajtára.

Ha egy adott mintából kilépő röntgensugárzás spektrumában azonosítani tudjuk a karakterisztikus csúcsokat, meghatározhatjuk a mintát alkotó atomok fajtáit, az egyes csúcsokhoz tartozó röntgenintenzitás összehasonlításával pedig relatív mennyiségi analízist végezhetünk, azaz meghatározhatjuk, hogy a periodikus rendszer egyes elemei átlagosan milyen arányban voltak észlelhetők a vizsgálat térfogatban. Ezt a módszert energia- ill. hullámhosszdiszperzív röntgenanalízisnek nevezzük, attól függően, hogy a detektor technikailag energia vagy hullámhossz szerint bontja-e fel a spektrumot. Az energia szerinti felbontást alkalmazó eljárás neve Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), a hullámhossz szerinti felbontást alkalmazó eljárásé Wavelength Dispersive Spectroscopy (WDS). A karakterisztikus röntgensugárzás körülbelül ugyanakkora térfogatból képes a minta felszínére jutni, mint a visszaszórt elektronok.



3. ábra: Az egyes válaszjelek információs térfogata

A 3. ábrán láthatjuk az egyes válaszjelek egymáshoz viszonyított információs térfogatát, amelynek méretét a beeső elektronok energiája mellett a vizsgált anyag atomjainak rendszáma is befolyásol.

A pásztázó elektronmikroszkóp felépítése

1. A vákuumrendszer

A pásztázó elektronmikroszkópban vákuumot kell létrehozni. A vákuum elsődleges szerepe az átlagos szabad úthossz növelése, azaz hogy az elektronok gázatomokkal, gázmolekulákkal való találkozásának valószínűségét lecsökkentsük.

Vákuum nélkül az elektronágyú is hamar tönkremenne, mivel a mintakamrában lévő levegőt az elektronnyaláb ionizálná, és a így keletkezett pozitív töltésű ionok az elektronokkal szemben haladva szétbombáznák a sugárforrást. Továbbá a mintatérbe esetleg bekerülő szénhidrogéneket az elektronnyaláb szétbontja, és a keletkező szén lerakódik a minta felszínére. Ezt a folyamatot krakkolásnak nevezzük, és csak nagyvákuum segítségével előzhető meg.

A vákuumot általában két- ill. háromfokozatú szivattyúrendszerrel hozzuk létre. A sugárforrás fajtájától függően 10^{-3} - 10^{-7} Pa vákuum szükséges.

2. Az elektronágyú

Az elektronágyú feladata az, hogy egy keskeny, de lehetőség szerint nagy intenzitású elektronnyalábot állítson elő. Maga az elektronforrás többféle is lehet:

a.) Termikus volframkatód

Egy vékony, V-alakú volframból felhevítünk (általában ellenállásfűtéssel). A hő hatására a huzal felszínéről elektronok lépnek ki.

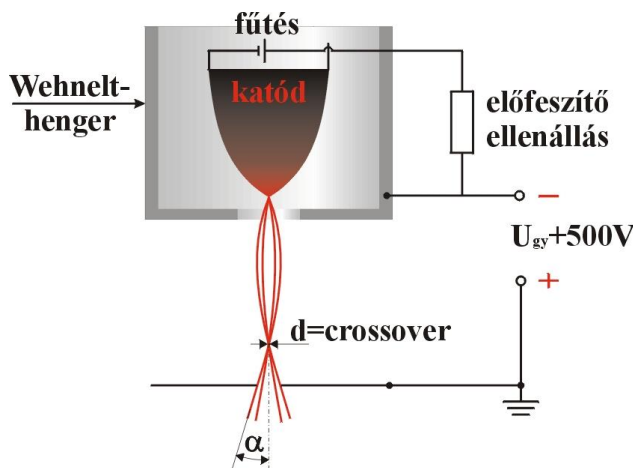
b.) Lantán-hexaborid (LaB_6) katód

Tű alakú lantán-hexaborid kristályt felhevítünk direkt vagy indirekt úton. A hő hatására a LaB_6 felszínéről elektronok távoznak. Az elektronok kilépési munkája a LaB_6 -ból jóval kisebb, mint a volframból, így a lantán-hexaboriddal jóval nagyobb elektronáram érhető el.

c.) Téremissziós katód

Általában nagyon hegyes, volfram-alapú katódok, amelyeknél az elektronemissziót nagy elektromos térerősség segítségével érhetjük el.

A gyakorlatban - elsősorban alacsony költségük miatt - a termikus volframkatódok terjedtek el. Az elektronágyú felépítése a 4. ábrán látható.



4. ábra: Az elektronágyú felépítése

Ez a fajta elektronágyú klasszikus, ún. háromelektrodás elrendezésű. Az anód földpotenciálon, a katód hozzá képest negatív, 5..30 kV-os potenciálon van. Emiatt a katódból kilépő elektronok az anód felé gyorsulnak, majd annak központi furatán áthaladva elhagyják az elektronágyút. A harmadik elektróda, a katódhoz képest -300..500 V-ra előfeszített Wehnelt-henger a katódból minden irányba kilépő elektronokat egy pontba, az ún. cross-over pontba fókuszálja. A további elektronoptikai egységek számára ez a pont tekinthető a mikroszkóp "fényforrásának".

A termikus volframkatód élettartama átlagosan 50 üzemóra. Tönkremenetele során erősen beszennyezi az elektronágyút, ezért a kiégett katód cseréjekor a Wehnelt-hengert és az anódot gondosan meg kell tisztítani. A lantán-hexaborid katód élettartama ezzel szemben 1000, míg a téremissziós katódé több mint 2000 üzemóra. Ez utóbbi kettőhöz azonban speciális vákuumrendszerre van szükség.

3. Az elektromágneses lencsék

Az elektronnyalábot elektromágneses lencsék segítségével párhuzamosítjuk és fókuszáljuk a minta felszínére. Külön eltérítő lencsék végzik az x és y irányú pásztázást.

A lencsék működése az elektromágneses Lorentz-törvényen alapul. A lencse tulajdonképpen nem más, mint egy vasmagos tekercs, amelynek hossz tengelye mentén furat van. A lencse belsejében gerjesztett mágneses tér, melynek nagyságát elektronikusan szabályozni tudjuk, eltéríti a beérkező

elektronokat. Az elektronnyaláb útjának további leírására a fényoptikában használatos lencsetörvények alkalmasak.

4. Detektorok

A mintából kilépő elektronokat energiájuk és kilépési irányuk alapján választhatjuk szét. A kis energiájú szekunder elektronok egy, a beeső nyalábtól távolabb elhelyezett szcintillációs detektorral foghatók fel, amely elé egy +300 V-ra előfeszített rácsot helyezünk. Ez az előfeszítés a mintát elhagyó szekunder elektronokat "behúzza" a detektorba, míg a nagyobb energiájú visszaszórt elektronokra nem gyakorol ilyen hatást. A detektoron belül az elektronok egy ún. szcintillátorba ütköznek, és ott fény-felvillanásokat okoznak. Erősítés után ez a fény egy fotodetektorral detektálható.

A nagy energiájú visszaszórt elektronokat a minta fölött elhelyezett félvezető detektorral érzékelhetjük. A beérkező elektronok hatására a félvezetőben elektron-lyuk párok keletkeznek, amelyek áramot hoznak létre.

Mindkét detektorra jellemző, hogy a kimenetén megjelenő áram nagysága arányos lesz a beérkező elektronok számával, így alkalmasak a monitort pásztázó elektronnyaláb intenzitásának vezérlésére.

Energiadiszperzív röntgenanalízis (EDS)

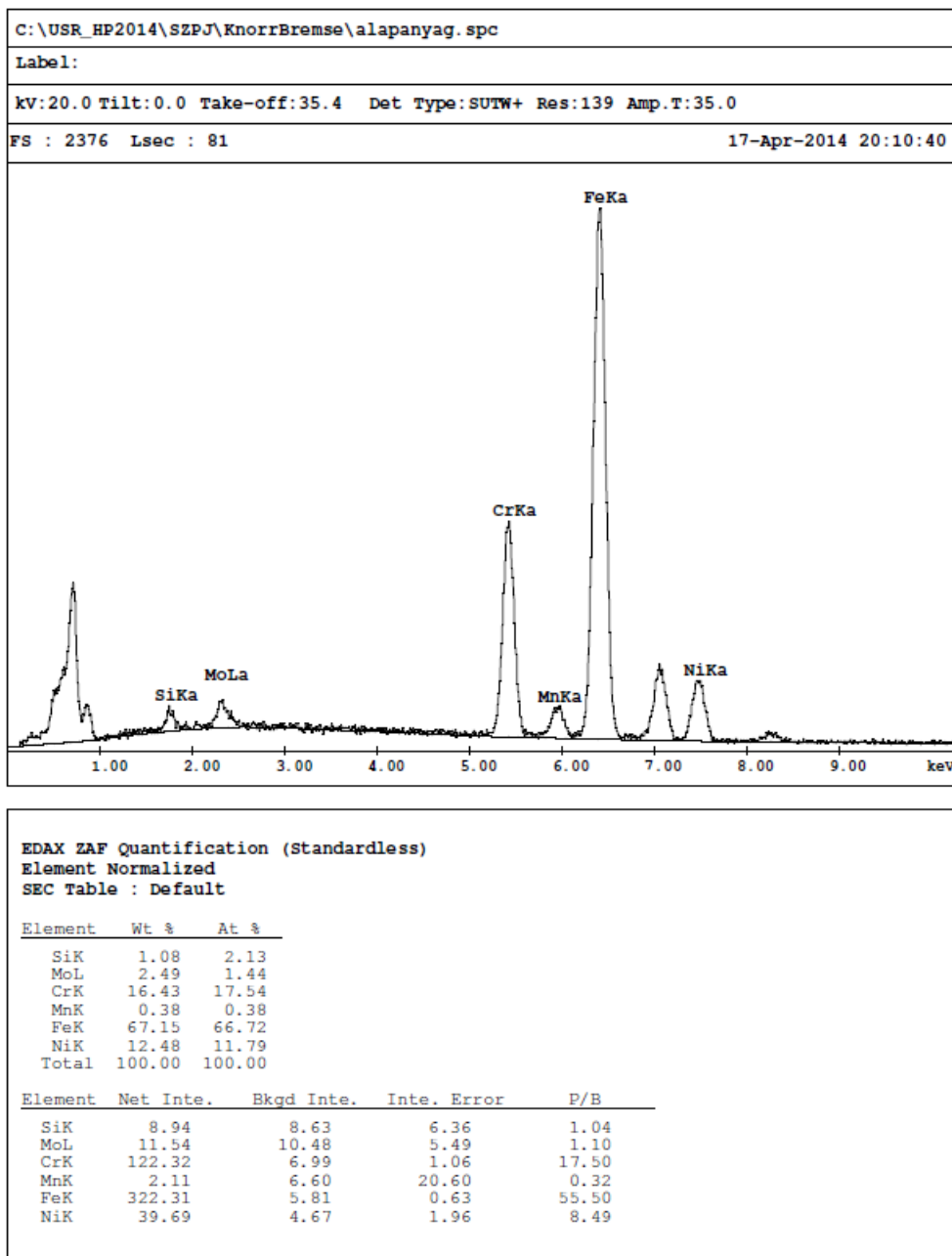
A beeső elektronnyaláb hatására keletkező karakterisztikus röntgensugárzást energia szerint felbontva az energiadiszperzív röntgenspektrumhoz jutunk. A felbontást egy lítiummal adalékolt Si-detektorral végezzük. Ez egy záróirányban előfeszített p-n átmenet, amelyben a becsapódó röntgenfoton elektron-lyuk párokat kelt. Egy ilyen pár keltéséhez átlagosan 3,8 eV energia szükséges, így a röntgenfoton energiája az elektron-lyuk párok megszámlálásával lehetséges.

Az egyes elemek relatív koncentrációját a hozzájuk tartozó görbék alatti területek arányaiból számíthatjuk ki, figyelembe véve a rendszám, az abszorpció és a fluoreszcencia miatti korrekciós faktorokat. Az EDS érzékenysége 10^{-2} %, relatív pontossága 3%, laterális és mélységi felbontása 0,5 μm . Energia szerinti felbontása (azaz az az energiakülönbség, amelynek meglétekor a két csúcsot különállónak látjuk) 138 eV.

Az EDS legnagyobb előnye az, hogy a minta egy tetszőlegesen kiválasztott területét, esetleg egyetlen pontjának összetételét meghatározhatjuk. Ez a lokális analízis egyedülállóvá teszi az EDS-t a többi kémiai analitikai módszer között, amelyekkel csak átlagos összetételt mérhetünk, de nem tudjuk kimutatni a helyi feldúsulásokat. Az 5. ábrán egy rozsdamentes acél minta energiadiszperzív spektruma látható.

A mérés menete

A mérésen megismerkedünk a pásztázó elektronmikroszkóp felépítésével. Szekunder- és visszaszórtelektron-képeket készítünk különböző fém és nemfém tárgyról. Ez utóbbiakat a vizsgálat előtt vékony aranybevonattal látjuk el, hogy vezetőképes legyen a felületük. Kiválasztott minták kémiai elemösszetételét határozzuk meg energiadiszperzív röntgenspektrométer segítségével. Megnézzük, hogy az egyes beállítások (munkatávolság, gyorsítófeszültség, nyalábméret) hogyan befolyásolják a képalkotást. *A mérés demonstrációs jellegű.*



5. ábra: Rozsdamentes acél energiadiszperzív röntgenspektruma

Ellenőrző kérdések

1. Ismertesse a pásztázó elektronmikroszkóp képalkotásának elvét!
2. Milyen válaszjelekkel lehet képet alkotni?
3. Milyen információt hordoz egy szekunder- és egy visszaszórtelektron-kép?
4. Hogyan jön létre a karakterisztikus röntgensugárzás?
5. Mi a különbség az EDS és a WDS technika között?
6. Milyen kritériumoknak kell megfelelni a vizsgálandó mintának, és milyen mintaelőkészítésre lehet szükség?

V. Moduláramkör készítése furatszerelési technológiával, kötések vizsgálata

A mérés célja: az úgynevezett „*pin in paste*” (továbbiakban PIP) forrasztási technológia megismerése.

A mérési feladat: furatszerelt alkatrészek forrasztott kötéseinek létrehozása PIP technológiával. Az elkészült kötések elektromos mérése és optikai minősítése.

A mérés elvégzésével megszerezhető képességek: a félautomata stencilnyomtató berendezés és a kényszerkonvekciós újraömlesztő kemence működésének megismerése, illetve a PIP technológia gyakorlati alkalmazásának elsajátítása.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid meghatározása

Furatszerelt alkatrész

A furatszerelt alkatrészek hajlékony vagy merev kivezetésekkel rendelkeznek. A hajlékony kivezetéseket a furatok helyzetének megfelelően méretre vágják és hajlítják. A merev kivezetésű alkatrészek lábkiosztása kötött. A kivezetéseket a szerelőlemez furataiba illesztik és a másik oldalon forrasztják. Ezért megkülönböztetünk alkatrész- és forrasztási oldalt.

Stencil

A stencil keretre feszített vékony lemez, melyen az alkatrészek forrasztására szolgáló felületeknek megfelelően ablakokat (apertúrákat) alakítanak ki. A forraszpaszta nyomtatásához használt stencilek általában 75-200 µm vastagságú fémfóliák.

Stencilnyomtatás

A stencilnyomtatás forraszpaszta-felviteli eljárás, amikor a hordozóra a pasztát nyomtatókés segítségével préseljük át a stencil apertúráin.

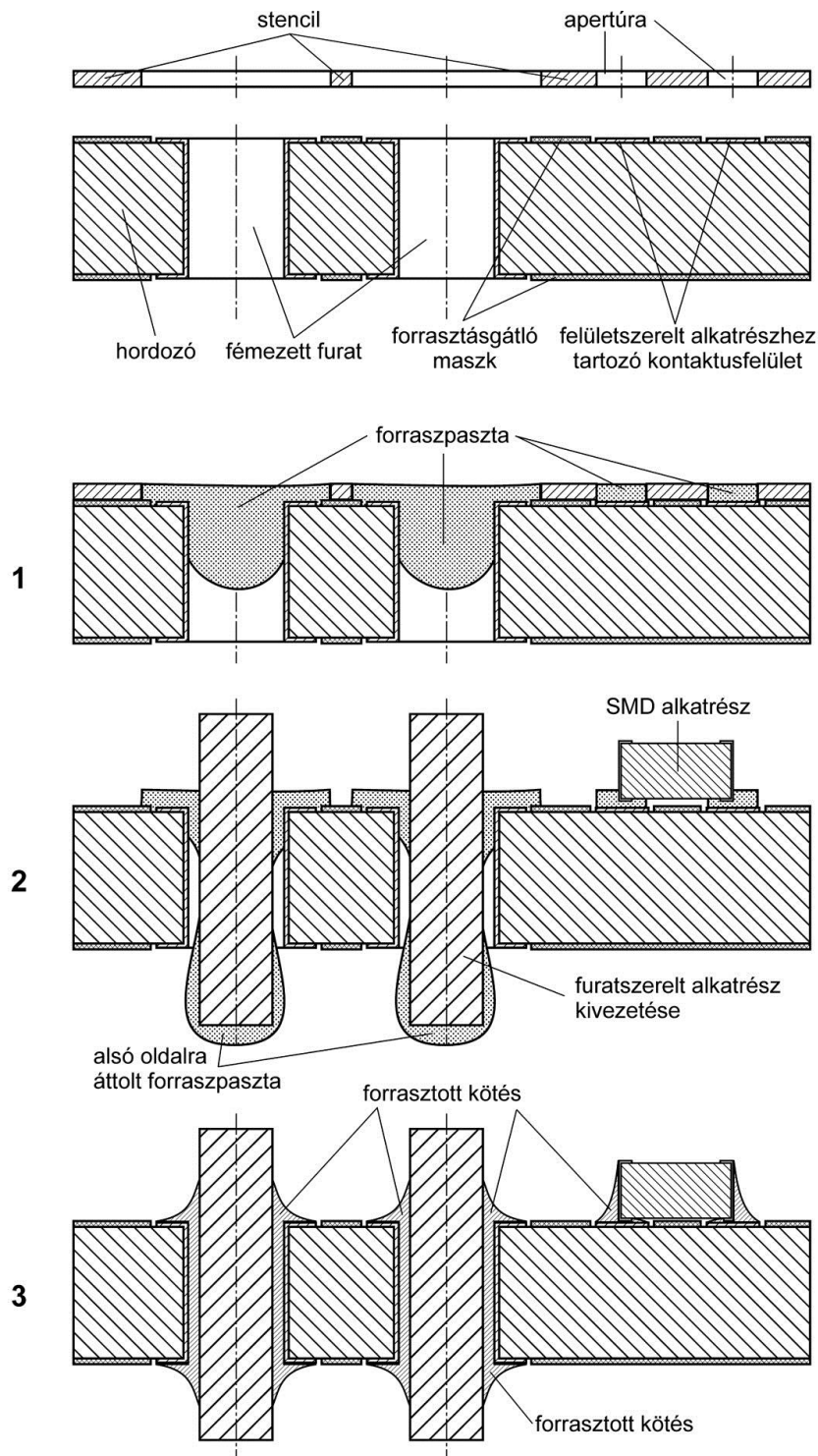
Újraömlesztéses forrasztás

Az újraömlesztéses forrasztás forrasztott kötések létrehozására szolgáló technológia, amikor a forraszanyag paszta formájában kerül a hordozóra, majd az alkatrészek elhelyezése után a forraszfémet melegítéssel megömlesztve alakítják ki a forrasztott kötéseket.

A PIP forrasztási technológia

A PIP forrasztási technológia esetében (más angol néven „*intrusive reflow*”) a furatszerelt alkatrészeket is újraömlesztéses technológiával forrasztják, együtt a felületre szerelhető alkatrészekkel. Így tehát a PIP technológia lépései megegyeznek az újraömlesztéses forrasztási technológia lépéseivel. Először a pasztafelvitel történik, ami elvégezhető cseppadagolással (diszpenzálassal) és stencilnyomtatással egyaránt (1. ábra 1). Ezután az alkatrészek elhelyezése történik a furatba és a felületre (1. ábra 2), majd az alkatrészek elhelyezése után következik a forraszpaszta megömlesztése (1. ábra 3).

Az újraömlesztő kemence hőprofil beállításánál figyelni kell arra, hogy – ellentétben a felületszerelési technológiával – a hordozó alsó oldalán is a forrasznak megfelelő hőmérséklet legyen az újraömlesztéses szakaszban, annak érdekében, hogy hibátlan legyen az alsó oldali forrasztási felületek nedvesítése. A PIP technológiánál az alkatrészek tokozásával szemben támasztott követelmény, hogy a tokozás sérülés nélkül kibírja az újraömlesztéses forrasztás csúcshőmérsékletét, ami hozzávetőleg 250 °C fél percig ólommentes forrasztótvözet használata esetén. Ezenkívül az alkatrészeket olyan kiserelésben kell rendelkezésre bocsátani, hogy az alkatrész-beültető gépek tudják kezelni azokat. A PIP technológiához sokkal nagyobb mennyiségű forraszpasztára van szükség, mint a felületszerelt alkatrészekhez, mert itt a felvitt paszta térfogatának elégnek kell lennie a forrasz-meniszkusz létrehozására mind a két oldalon és a furat kitöltésére is. Ezért a PIP technológia kulcsfontosságú kérdése a megfelelő mennyiségű forraszpaszta felvitele a hordozóra.



1. ábra. A PIP fórrasztási technológia lépései

A fórraszpaszta szükséges térfogatának meghatározása

A felvitt paszta térfogatának elégnek kell lennie ahhoz, hogy a fórrasz létrehozza két oldalt a meniszkuszt és kitöltse a furatot. Figyelembe kell venni, hogy a fórraszpaszta csak 40-50 térfogatszázalékban tartalmaz fórraszfémet, tehát a felvitt paszta térfogata közel felére csökken a fórrasztásnál. Így a szükséges térfogat általánosan:

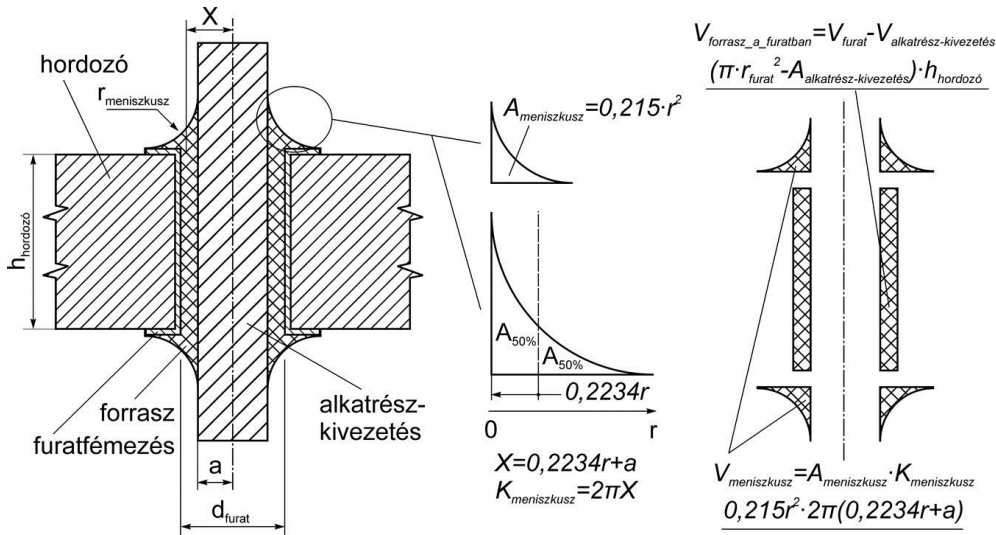
$$V_{\text{paszta}} = \frac{1}{S} (V_{\text{furat}} - V_{\text{alkatrész_kivezetés}} + 2 \cdot V_{\text{meniszkusz}}), \quad (1)$$

ahol:

- S a forraszpaszta zsugorodási tényezője (shrinkage factor) – általában $S=0,5$, tehát az $1/S=2$. A furat térfogatának számításánál figyelni kell arra, hogy a fémzés után a furat átmérője hozzávetőleg $100\ \mu\text{m}$ -t csökken.

A forrasz-meniszkusz térfogatának számításához tételezzük fel, hogy a forrasz az alkatrész kivezetésén olyan magasságban kúszik fel, mint a kivezetés falának távolsága a forrasztási felület végétől (2. ábrán r -rel jelölve). Ekkor a forrasz-meniszkusz keresztmetszetének felszíne:

$$A = 0,215 \cdot r^2 \quad (2)$$



2. ábra. A megfelelő kötés kialakításához szükséges pasztatérfogat

A forrasz-meniszkusz gravitációs középpontjának távolsága a kivezetés középpontjától:

$$X = 0,2234r + a \quad (3)$$

ahol

- a : az alkatrész-kivezetés sugara.

A forrasz-meniszkuszt forgástestnek feltételezve a kerülete:

$$2\pi X \quad (4)$$

Tehát a forrasz-meniszkusz térfogata:

$$V_{\text{forrasz_meniszkusz}} = 0,215r^2 \cdot 2\pi(0,2234r + a) \quad (5)$$

Így a szükséges pasztatérfogat (1) képletbe behelyettesítve (5)-t:

$$V_{\text{paszta}} = 2 \cdot \left(\left(\pi \cdot r_{\text{furat}}^2 - A_{\text{alkatrész_kivezetés}} \right) h_{\text{hordozó}} + 2 \cdot \left(0,215r^2 \cdot 2\pi(0,2234r + a) \right) \right) \quad (6)$$

Stenciltervezés a PIP forrasztási technológiához

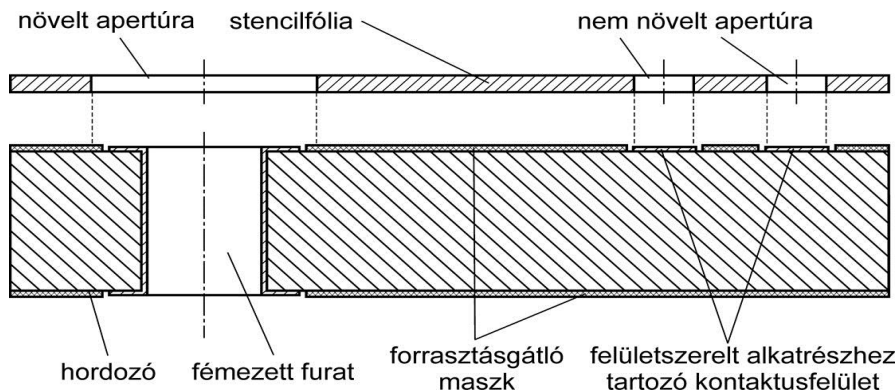
Abban az esetben, ha a pasztát stencilnyomatással visszük fel a hordozóra, a nyomtatott paszta térfogata a furatszerelt alkatrészek esetében megegyezik az apertúra térfogatával, amit a (7) képlettel számíthatunk, elhanyagolva azt, hogy a lézerrel vágott- és galvanoplasztikai eljárással készített stenciltek esetén az apertúra keresztmetszete trapéz alakú.

$$V_{\text{nyomatott_paszta}} = w \cdot l \cdot t \quad (7)$$

ahol:

- w : a stencil-apertúra szélessége,
- l : a stencil-apertúra hossza,
- t : a stencil-fólia vastagsága.

A PIP technológiánál a jó minőségű forrasztott kötés létrehozásához nagy mennyiségű paszta szükséges. Ahhoz, hogy elegendő mennyiségű pasztát tudjunk nyomtatni a hordozóra, az apertúra méretét vagy a stencil-fólia vastagságát kell növelni. A stencil-fólia vastagságának növelése azonban rövidzárat okozhat a finom raszter-osztású felületszerelt alkatrészek kivezetései között. Amennyiben a furatszerelt alkatrésznek a raszter-osztása nem túl finom, azaz nagy hely van a forrasztási felületek között, akkor általában elegendő mennyiségű pasztát tudunk felvinni csupán a stencil-apertúra méretének növelésével (3. ábra). Természetesen ilyenkor is törekedni kell a lehető legnagyobb távolságra a pasztalenyomatok között (lehető legkisebb mértékben növeljük az apertúrát), hogy megakadályozzuk a rövidzárok képződését a furatszerelt alkatrész kivezetései között. Az 1. táblázat nyújt információkat a PIP technológiához ajánlott furatméretekéről és stencil-apertúra méretekről.



3. ábra. Túlnyomtatás az apertúra méretének növelésével

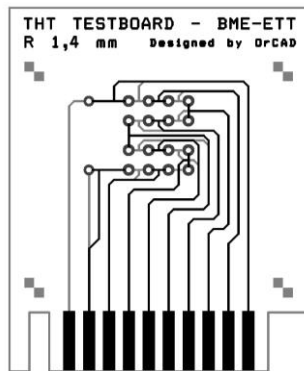
1. táblázat A PIP technológiához ajánlott furatátmérők és stencil méretek

	Határértékek	Ajánlott értékek
Furatátmérő	0,63...1,6 mm	0,75...1,25 mm
Alkatrész-kivezetés átmérője	Furatátmérőnél legalább 75 µm-el kisebb	Furatnál 125 µm-el kisebb
Stencil-apertúra átmérője	Legfeljebb 6,35 mm	Legfeljebb 4 mm
Stencil-fólia vastagsága	0,125...0,635 mm	0,150...0,2 mm

A mérés menete

1. Előzetesen gyártott hordozón lévő galvanizált furatok ellenállásának mérése 4 tús módszerrel

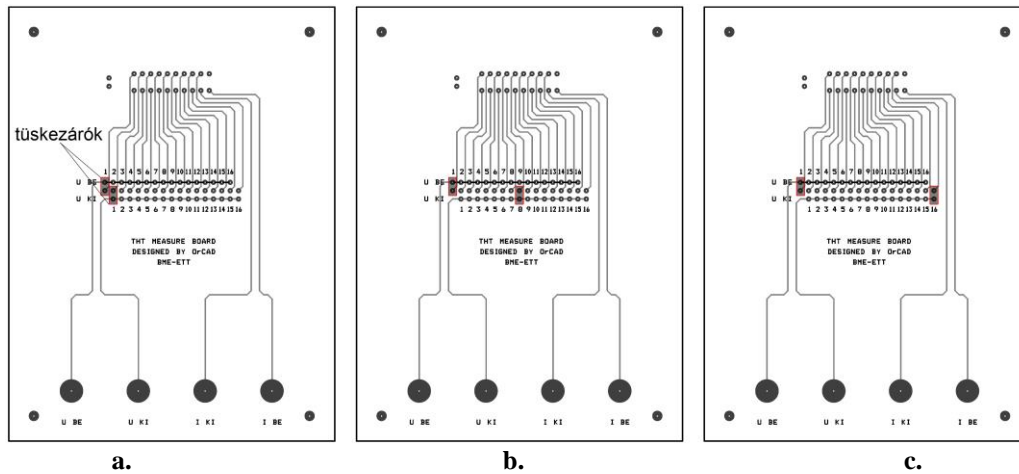
A mérés a „I. Nyomtatott huzalozások technológiája” labor keretében előzetesen elkészített kísérleti lemezen történik (4. ábra) mérőkártya alkalmazásával. A kísérleti lemezen a forrasztási felületek átmérője 1,4 mm, míg a furatok átmérője a fémzés előtt 1 mm.



4. ábra. A mérendő kísérleti lemez

A mérendő kísérleti lemezt a mérőáramkörön a sorcsatlakozóba kell illeszteni. Összesen három módon mérik a hallgatók a furatfémzés ellenállását:

- 1 db. furatfémzés ellenállásának mérése – a tűskezárók az 5.a. ábrán jelzett helyzetben vannak,
- 8 sorbakötött. furatfémzés és a közöttük lévő vezetékszakaszok ellenállásának mérése – a tűskezárók az 5.b. ábrán jelzett helyzetben vannak,
- 16 sorbakötött. furatfémzés és a közöttük lévő vezetékszakaszok ellenállásának mérése – a tűskezárók az 5.c. ábrán jelzett helyzetben vannak.

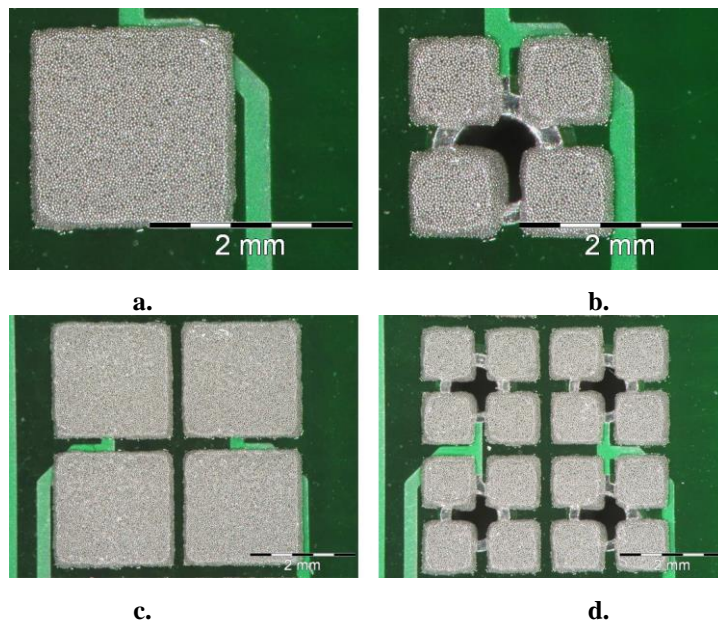


5. ábra. A tűskezárók pozíciója a mérőkártyán a három méréshez

2. forrasztott kótek létrehozása PIP technológiával, és azok minősítő ellenőrzése

A forrasztott kóteket a hallgatók a 4. ábrán lévő kísérleti lemeze készítik. A kótek létrehozásának első lépése a paszta felvitele stencilnyomtatással. A stencil-fólia 150 µm vastag lézervel vágott rozsdamentes acél. A forraszpaszta felviteléhez négy különböző kialakítású stencil-apertúrán keresztül történik:

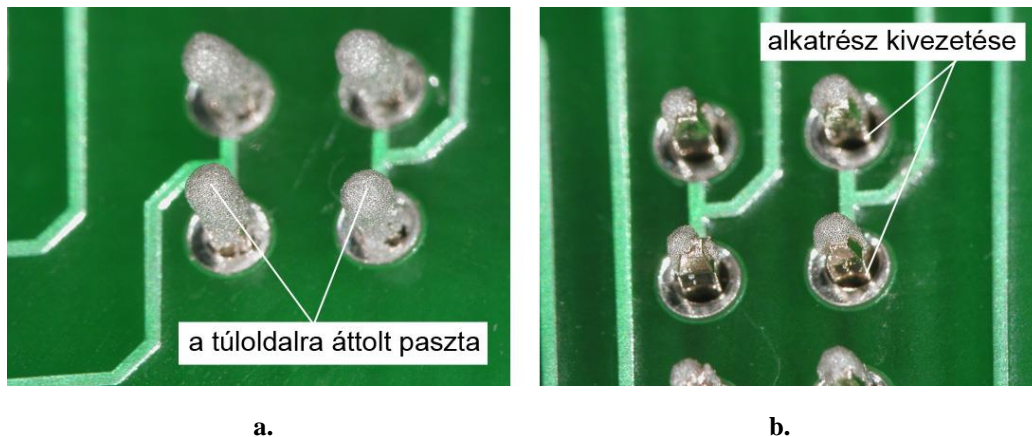
- 2 mm élhosszúságú négyzetes apertúra, a felvitt pasztát a 6.a. ábra mutatja,
- 2 mm élhosszúságú keresztrel kitékelt apertúra, a felvitt pasztát a 6.b. ábra mutatja,
- 2,3 mm élhosszúságú négyzetes apertúra, négy szomszédos lenyomatot a 6.c. ábra mutat,
- 2,3 mm élhosszúságú keresztrel kitékelt apertúra, négy szomszédos lenyomatot a 6.d. ábra mutat.



6. ábra. A különböző kialakítású stencil apertúrákon keresztül felvitt paszta

A keresztrel kitalart apertúrák célja az, hogy az alkatrészek elhelyezésekor a kivezetés kevesebb forraszpasztát toljon át a túloldalra, ezáltal csökkentve a zárványok képződését a furatban.

A stencilnyomtatás után a második lépés a furatszerelt alkatrészek elhelyezése, a laboron tűkesort alkalmaznak a hallgatók. Az alkatrész-elhelyezés után a hallgatók optikai mikroszkóppal szemrevételezik azt, hogy az alkatrész kivezetése mennyi pasztát tolt át a túloldalra, megvizsgálják a különbséget a négyzetes (7.a. ábra) és a keresztrel kitalart apertúra (7.b. ábra) alkalmazásának esetében.



7. ábra. Az alkatrészek elhelyezése után a kivezetések és a túloldalra áttolt forraszpaszta

Az alkatrészek elhelyezése után a harmadik lépés a forrasztás kivitelezése újraömlesztő kemencében. A forrasztás után a hallgatók optikai mikroszkóp segítségével minősítik a forrasztott kötések az IPC-610 szabvány idevonatkozó fejezete alapján. A minősítésekre vonatkozó szabványok általában három szigorúsági kategóriába sorolják az áramköröket attól függően, hogy vegyes szerelésű-e vagy sem, illetve az alapján, hogy mekkora a kivezetés-távolsága a legfinomabb raszterosztású alkatrésznek. Az IPC-610 szabvány hatodik fejezete foglalkozik a furatszerelt alkatrészek forrasztásának minősítésével, mely a legszigorúbb kategória szerint a következő követelményeket támasztja a kötésekkel szemben:

- 100 % legyen a forrasz furatkitöltése,
- a forrasztási felület legalább 75 %-a legyen nedvesítve a forrasztási oldalon,
- a kivezetés körben legalább 330 °-ban nedvesítve legyen,
- a forrasz-meniszkusz alakja homorú legyen.

Ellenőrző kérdések

1. Miért előnyös a PIP technológia alkalmazása?
2. Mik a PIP technológiánál az alkatrészekkel szemben támasztott követelmények?
3. Sorolja fel a PIP technológia lépéseit!
4. Milyen gondolatmenettel lehet meghatározni a forrasztott kötések létrehozásához szükséges forraszpaszta térfogatát?
5. Milyen módon lehet stencilnyomtatással nagy mennyiségű pasztát felvinni a hordozóra?

VI. Moduláramkör készítése újraömllesztéses felületszerelési (SMT) technológiával

A mérés célja: felületszerelési, stencilnyomatási technológia megismerése.

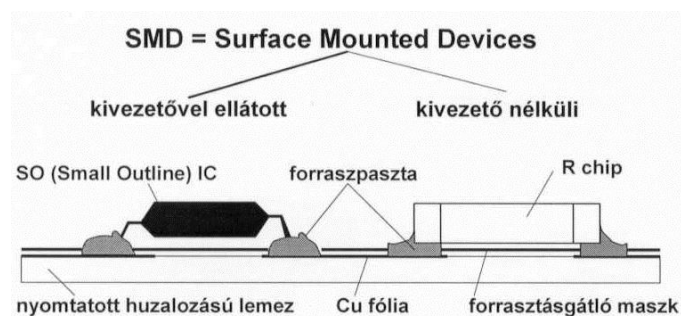
A mérési feladat: működőképes áramkör elkészítése; nyomtatott huzalozású lemezre forraszpaszta felnyomatása, alkatrészek beültetése és az áramkör ellenőrzése.

A mérés elvégzésével megszerezhető képességek: forraszpaszták, azok nyomtatási technológiájának, beültető gépek működésének, újraömllesztő kemence működésének megismerése.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid meghatározása:

Felületi szereléstechológia (SMT- Surface Mount Technology): olyan eljárás, amelynél a speciálisan e célra kialakított felületre szerelhető alkatrészeket (**SMD- Surface Mounted Devices, a továbbiakban SM alkatrészek**) a szerelőlemez felületén kialakított forrasztási felületekhez (**pad-ekhez**) mechanikusan kötik, amely villamos összeköttetést is biztosít. A kötési technológia az esetek döntő többségében **forrasztás**, ritkán pl. hőre érzékeny alkatrészeknél vezető ragasztás. Az SM alkatrészeket felülethez simuló kivezetőkkel ellátva vagy azok nélkül, forrasztási felülettel ellátva forgalmazzák (1. ábra). Napjainkban a szerelőlemezre ültetett alkatrészek 95 %-a SMD, míg a furatszereltek mindössze 5 %-ot tesznek ki.

Passzív SM alkatrészek: a legáltalánosabban használt típusok, az ún. **chip ellenállások**. Ezek többnyire Al_2O_3 kerámiahordozón vastagréteg technológiával megvalósított rétegellenállások. A védőüveg rétegre szitanyomatással vagy lézeres gravírozással viszik fel a három karakterből álló **értékkódot** (ennek dekódolása pl. 683 – 68×10^3 ohm). Az ellenállások méretét (2. ábra) négykarakteres **méretkóddal** adják meg (az **l** és **d** értéke 10 mil-ben, 10 mil=254 μ m):



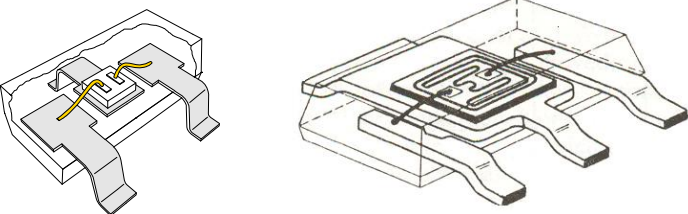
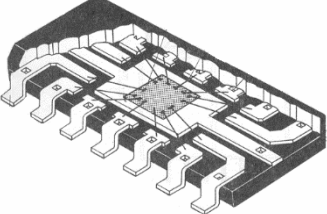
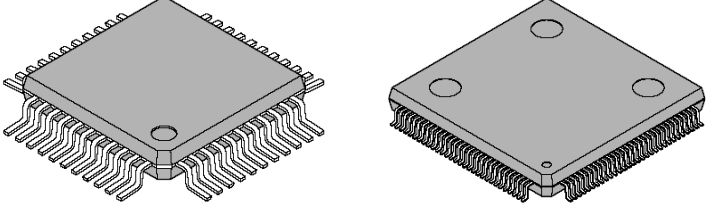
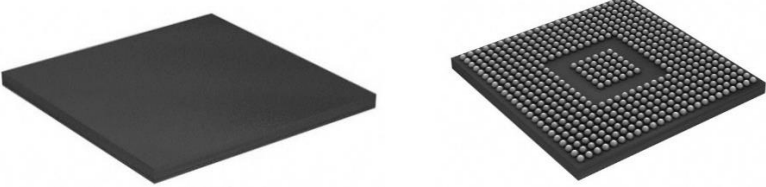

1. ábra. A felületre szerelhető alkatrészek alaptípusai



2. ábra. Chip ellenállás méretkódjának értelmezése

Például a **1206** méretkódú chip ellenállás geometriai méretei: **l** = $12 \times 254 \mu\text{m} \cong 3 \text{ mm}$, **d** = $6 \times 254 \mu\text{m} \cong 1,5 \text{ mm}$. Jelenleg a legkisebb chip ellenállás méretkódja **01005** (0,4x0,2 mm).

Felületre szerelhető tok és IC típusok:

<p>SOT-23 és SOT-89 tranzisztorok</p>	
<p>SOIC</p>	
<p>QFP 48, 120 kivezetővel</p>	
<p>BGA</p>	
<p>QFN 16, 32 kivezetővel</p>	

3. ábra. Felületre szerelhető IC tok-típusok felépítése

Forrasztóanyag: A forrasztott kötést az összekötendő elemeknél kisebb olvadáspontú, azoktól különböző anyag (**forrasztóanyag, röviden forrasz**) hozza létre. A forrasztott (adhéziós-diffúziós) kötés a felmelegítési ciklusban alakul ki. A forrasz megömlik, nedvesíti az elemek felületét, létrejön a forrasz folyékony állapotában a kötés, ami azután lehűléskor megdermed, és mechanikailag szilárdná válik. A forrasz terülését, kúszását a forrasztandó felületen a felületi feszültségből származó erők határozzák meg. Csak a tiszta, oxidmentes felületeket nedvesíti jól a forrasz, ezért a forrasztandó felületeket tisztítani és oxidmentesíteni kell. A forrasztási művelet alatt ezt a feladatot látja el a forrasztóanyaggal együtt adagolt **folyasztószer (flux)**.

A felületi szereléstechológia a **forrasztóanyagot** (solder paste) alkalmazza, mely a folyasztószerbe elkevert forrasz gömböcskékből áll, a gömböcskék átmérője ~20...50 μm , a forrasztóanyag fém tartalma kb. 89...91 súly%.

Forraszpaszták: eltérő viszkozitással gyártják (800...2200 P, 25 °C-on) attól függően, hogy azok stencil nyomtatással vagy tűs cseppadagolással kerülnek-e felhordásra. (1 P = 1 Poise = 1 dyn*sec/cm²) A paszták különálló típusát képezik azok, amelyeket N₂ atmoszférában lehet megömlesztetni. Környezetvédelmi okokból a modern flux-ok VOC-t (Volatile Organic Compound), azaz illékony szerves vegyületet nem tartalmaznak. Halogénmentesek és forrasztás után nem kell a hordozót lemosni („no-clean” paszták). A flux-ok a forraszpaszták 9-10 súly %-át teszik ki. Túl magas forrasztási hőmérséklet, vagy hosszú forrasztási idő a műanyag tokozású alkatrészek károsodásához, vagy a vezetőrétegek forrasztanyagba oldódásához vezethet. Nehezen eltávolítható szennyeződést és későbbi gondokat okozhat a folyasztószer-maradványok túlmelegedés hatására bekövetkező bomlástermékeinek visszamaradása is. Az első és második táblázat mutatja be a különböző ötvözeteket, olvadásponttal.

1. táblázat - Ólommentes forrasz (lead-free solder) ötvözetek:

- 96,5Sn3Ag0,5Cu	Ón-Ezüst-Réz	op. 217
- 96,5Sn3,5Ag	Ón-Ezüst	op. 221
- 99,3Sn0,7Cu	Ón-Réz paszta	op. 227

2. táblázat - Hagyományos ólomtartalmú (leadad) forraszok

- 63Sn37Pb	eutektikus Ón-Ólom	op. ~185
- 60Sn40Pb	Ón-Ólom	op. ~188
- 62Sn36Pb2Ag	Ón-Ólom-Ezüst	op. 179

Az ólom mérgező anyag, ezért EU előírás szerint 2006. július 1-től használatát be kellett szüntetni (a mérgező anyagok, mint pl. az ólom, higany, kadmium tömegarányos jelenléte maximum 0,1 % lehet), viszont speciális esetekben még engedélyezett ólom tartalmú szerkezetek, paszták használata (pl.: autó-elektronika, orvoselektronika).

Az alkatrész-beültető gépek típusai

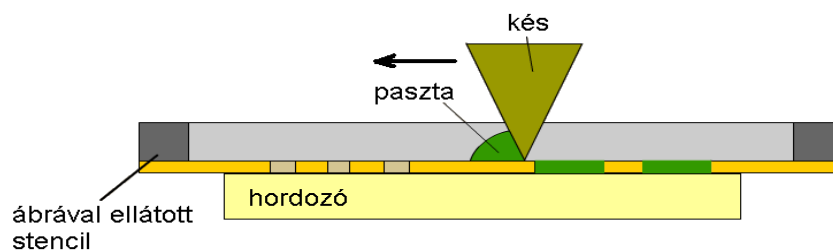
- Kézi pick-and-place gépek: a tárból az alkatrészek felvétele, majd ezek beültetése a szerelőlemezbe egyesével, kézi működtetéssel végezhető.
- Automata pick-and-place gépek: az alkatrészeket a tárból egyenként felvevő (pick) majd azokat a szerelőlemezre egyenként beültető (place) programvezérelt automaták.
- Collect-and-place gépek: a tárból egyszerre több alkatrészt felvételére (collect) képes, majd azokat a szerelőlemezre sorban beültető (place) programvezérelt automaták.

A mérés menete

1. Az újraömllesztéses forrasztási technológia műveleti lépései a laborgyakorlat során

1.1. Forraszpasztá felvitele a forrasztási felületekre stencilnyomtatással

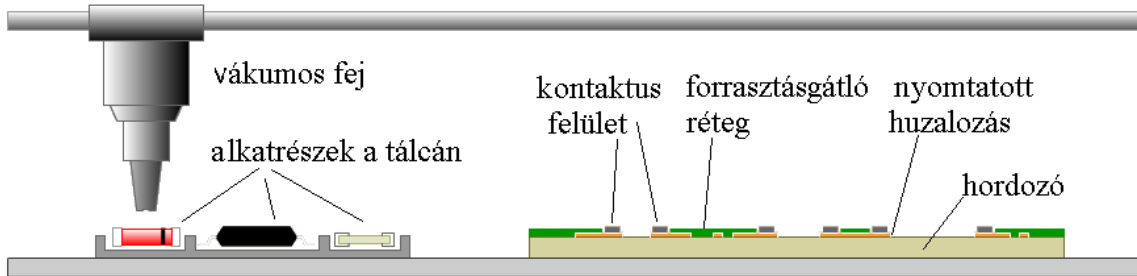
A hordozó felületére kézi stencilnyomtató berendezéssel visszük fel a kívánt paszta mennyiségét. A paszta stencilre való felkenése után késsel kenjük a forrasztási felületekre a pasztát. Figyelni kell a kés folyamatos egyirányú mozgására az egyenletes felvitel érdekében.



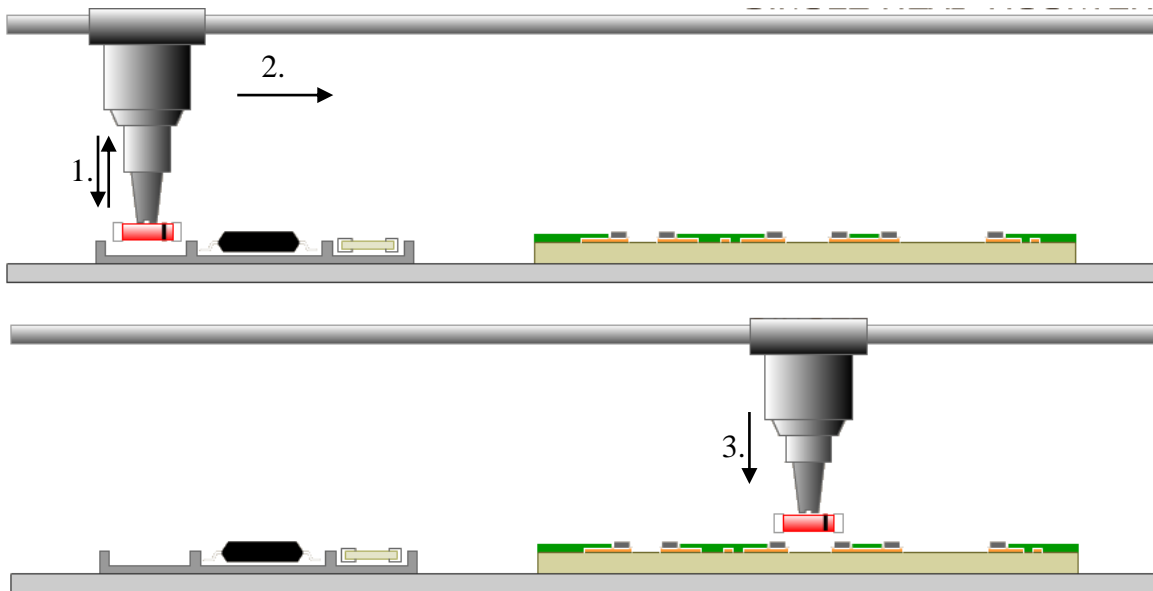
4. ábra. Stencilnyomtatás folyamata

1.2. A felületre szerelhető SM alkatrészek beültetése a topológiai terv alapján a forraszpaszta lenyomatokba, kézi működtetésű pick-and-place berendezéssel.

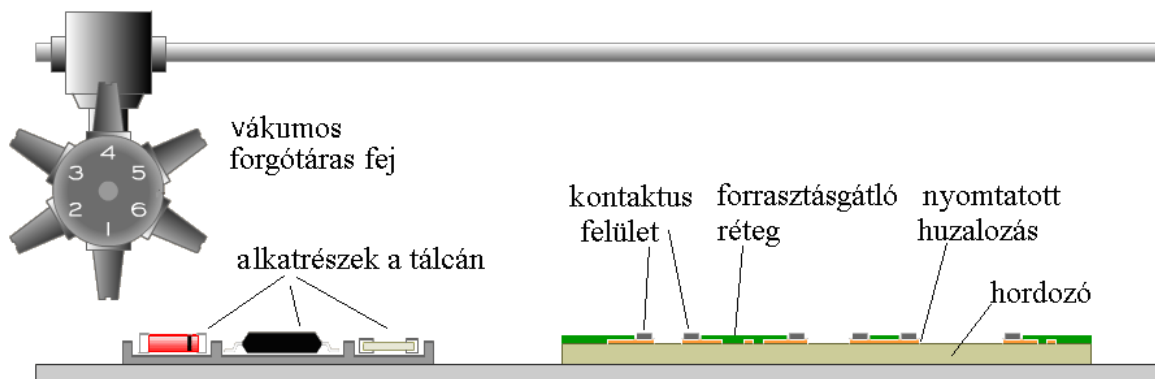
A beültető gép működése során az alkatrészeket egyesével ülteti be topológiai terv alapján a forrasztási felületekre. A kézi működtetésű félautomata berendezés esetében lehetőség van számítógépes vezérlésre. Ilyenkor az alkatrészek sorrendjét, a tár helyét és a beültetés helyét megjelöli a gép, de kézzel kell a beültető fejet mozgatni.



5. ábra. SMD beültető gép részei



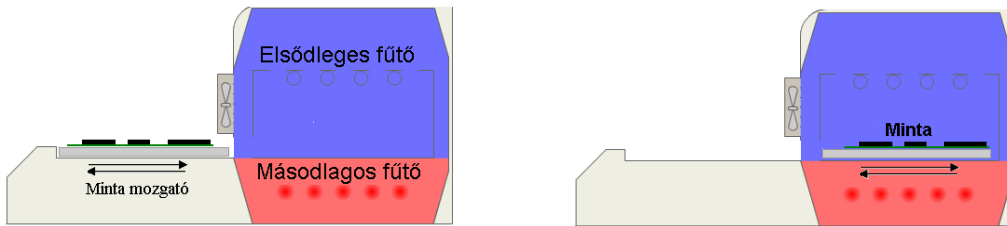
6. ábra. SMD beültető gép működésének folyamata:
1. alkatrész felvétele 2. alkatrész pozícióba mozgatása 3. alkatrész lehelyezése



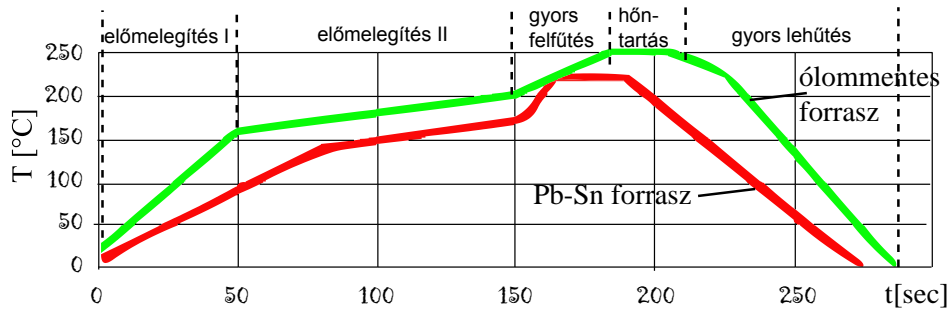
7. ábra. Automata revolver-fejes beültető gép

1.3. Újraömlesztéses forrasztás.

Az SMD alkatrészek beforrasztása újraömlesztéses (reflow) technológiával, kemencében.



8. ábra. Újraömlesztéses kemence keresztmetszeti képe



9. ábra. Újraömlesztéses forrasztás hőprofilja

Az ólommentes forraszok és a hozzájuk kapcsolódó magasabb hőmérsékletű hőprofil több problémát is felvet. Mint a 9. ábrán látható, az ólommentes hőprofil helyenként akár 20-30 °C-al is magasabb hőmérsékleti adatokat mutat. A felfűtés és hőntartás ideje is hosszabb. Ez a hőmérsékleti különbség a különböző alkatrészeket (műanyag tok, BGA) megviselheti.

Az újraömlesztéses forrasztási eljárás leggyakoribb hibái közé tartoznak: alkatrészek elcsúszása, alkatrészek elfordulása, sűrű effektus, forraszgömbök képződése a forrasztás környezetében, zárványképződés a forraszanyagban.

A laborgyakorlat során Eurocircuits eC-reflow-mate infrasugaras újraömlesztő kemence használatával a forrasztjuk be az alkatrészeket. A kemence hátulján található kapcsolóval helyezzük üzembe a berendezést, majd a berendezéshez csatlakoztatott számítógépen elindítjuk az eC-reflow-pilot szoftvert. A kemence tálcáját az OPEN gomb megnyomásával kinyitjuk, majd erre helyezzük el az elkészült hallgatói NYÁK-okat, lehetőség szerint a munkatér közepére. A gép tálcájához rögzített hőelem mérő végét a középponthoz legközelebb lévő áramkört hordozó (lehetőség szerinti) fém felületéhez ragasztjuk Kapton szalaggal. Ezután becsukjuk a kemence ajtaját.

A szoftver segítségével elkészítjük a használni kívánt hőprofil, melynek beállításakor az alábbi paramétereket alkalmazzuk. A beállítási lehetőségek a *work » edit temperature* útvonalon keresztül érhetőek el, illetve a *furnance » parameter* menüpontban. A beállításokat a 3. táblázat tartalmazza. A parameter menüpont *set temperature* parancsa az előmelegítő (pre-heat) beállításáért felel, a *reflow hold time* pedig azt mutatja meg, hogy az eszköz mennyi ideig tartsa a csúcshőmérsékleten a munkatér hőmérsékletét.

A profil elkészülte után a *download* ikonra kattintva elküldjük azt a berendezésnek, mely USB porton keresztül kommunikál a számítógéppel. A *play* ikonnal elindítjuk a forrasztást. A művelet során három hőelem által mért hőmérsékletet monitoroz a szoftver: *furnance* (felső hőelem), *pre heater* (alsó hőelem) és *ext. sensor* (a NYÁK-ra rögzített hőelem). A program lefutása után a kemence ajtaja automatikusan kinyílik, erre külön figyelmet kell szentelni. A mért diagramokat PDF formátumban elmenthetjük. Ehhez a *file » printer setup* menüben ki kell választanunk a megfelelő printer programot. A *file » print-re* kattintva elkészül a dokumentum. A kész áramköröket szabad levegőn történő konvekciós hűlés után kesztyű segítségével kivehetjük a mintatartó tálcáról.

3. táblázat – Kemence beállításának javasolt paraméterei

		Hőmérséklet [°C]	Idő [sec]
work/edit temp.	Temp. point 1	25	0
	Temp. point 2	190	20
	Temp. point 3	190	110
	Temp. point 4	235	240
	Temp. point 5	190	270
	Temp. point 6	25	300
furnace/parameter	set temperature	160	-
	reflow hold time	-	10



10. ábra. eC-reflow-mate infrasugaras kemence

1.4. Az áramkör működőképességének a vizsgálata. Tesztelés.

A laborban rendelkezésre álló mérő- és vizsgáló berendezésekkel a forrasztásból adódó esetleges szakadások, rövidzárak javításra kerülnek. Az USB villogó tesztelése számítógépes porton vagy USB-HUB eszközön keresztül történik.

Ellenőrző kérdések

1. Miért előnyös az SM technológia alkalmazása?
2. Sorolja fel a főbb SM tok típusokat!
3. Jellemezze az ólommentes forraszpasztákat, sorolja fel összetételüket!
4. Sorolja fel az újraömllesztéses forrasztási technológia lépéseit!
5. Vázzolja a beültető gépek működési elvét!
6. Melyek az újraömllesztéses forrasztási eljárás leggyakoribb hibái?

A forrasztókemencét az **Eurocircuits Kft.** biztosította a hallgatói mérésekhez.

<http://www.eurocircuits.hu>



VII. Nyomtatott huzalozású lemez tervezése elektronikai szerelési technológiák vizsgálatára

A mérés célja: Olyan nyomtatott huzalozású lemez (NYHL, szerelőlemez) megtervezése, amely alkalmas a lemez gyártási technológia határainak megállapítására.

A mérés során a hallgató megismerkedik a Mentor Graphics PADS CAD szoftvercsaláddal.

A mérési feladat: A mérésvezető irányításával a hallgatók számítógépes áramkörtervező rendszerrel megtervezik az adott mintázattal rendelkező lemezt. A rajzolatot és a hozzá tartozó stencil apertúrákat úgy alakítják ki, hogy a lemez a legyártása után alkalmas legyen az adott stencil és NYHL technológia, valamint a szerelési-forrasztási folyamat határainak, tulajdonságainak megállapítására.

A mérés elvégzésével megszerezhető képességek: A hallgató megismerkedik a tipikus szereléstechológiai hibákkal és a szereléstechológiai határok fogalmával a gyakorlatban. A hallgató elsajátítja a mérés során használt áramkör tervező rendszer legfontosabb eszközeit.

A mérés során felmerülő fogalmak rövid meghatározása:

Rajzolatfinomság

A lemez huzalozásánál meghatározott minimális vezeték- és szigetelő szélesség. Az alkatrészek méreteinek, lábkiosztásának csökkenésével és ennek következtében a technológia fejlődésével ezek az értékek csökkennek. A rajzolatfinomságot a gyártási technológia korlátozza.

Fiduciális jel

Illesztést segítő ábra (ábrák) a szerelőlemezen kialakítva. Egy fiduciális jellel meghatározható a tervezési rendszer 0,0 referencia pontja. Két fiduciális jellel (a szerelőlemez átellenes sarkában) meghatározható a pozicionálási és forgatási hiba. Három fiduciális jellel meghatározhatóak a gyártó filmek vagy a szerelőlemez geometriai torzításai.

Elvi kapcsolási rajz, sematikus ábra, schematic

Az áramkör kapcsolási rajza, amelyben szimbólumokkal jelölik az adott áramköri elemeket. Az áramköri elemek kivezetései közötti kapcsolatot is meg kell határozni a sematikus ábra tervezése során.

Layout

Az elvi kapcsolási rajz megvalósítása szerelőlemez formájában; az alkatrészek geometriai elrendezésének és összehuzalozásának terve. A schematic és a layout tervezés mindig szorosan összefügg, a CAD szoftver szintjén is.

Réteg, Layer

A layout-tervező programok „réteg” szerkezetben kezelik a tervezett rajzolatokat. Léteznek fizikailag megvalósításra kerülő és vannak dokumentáláshoz szükséges rétegek. A tervezés és a dokumentáció-készítés során a szoftver által értelmezett rétegek mindig jelen vannak, de általában csak a fontos és a használatban lévő rétegeket tesszük láthatóvá.

A különböző szoftverek különböző elnevezés-változatokkal kezelhetik ezeket a rétegeket, de általában konzisztensen jelölik az adott rétegeket.

A legfontosabb rétegek pl. a szerelőlemez alsó és felső oldalához tartozó rézréteg (top/bottom), forrasztásgátló lakk ablak rétegei (solder mask), stencil apertúra (solder paste) rétegek... stb.

Bevezetés

Az elektronikai gyártásban igen fontos szerepe van a költséghatékonyságnak. Kisebb alkatrészekkel, finomabb NYHL rajzolattal, precízebb technológiával és így kisebb szerelőlemez mérettel olcsóbban lehet megoldani ugyanazt a feladatot. Ezzel együtt nő az alkatrész- és funkcióúsúség is. Ezért igen fontos a rendelkezésre álló technológia határainak ismerete, és a gyártás ezekhez igazítása. Finom rajzolatú, kisméretű szerelőlemezen megvalósított áramkör esetén például elengedhetetlenül fontos tudni, hogy az alkatrészek mennyire helyezhetők egymáshoz közel (ld. zárlatképződés vizsgálata). Túl kis távolság esetén zárlat (rövidzár, forraszhíd) alakulhat ki, nagy távolságnál pedig feleslegesen nagy területet foglalnak az alkatrészek a szerelőlemezen. Jelen gyakorlat során négy hibajelenség vizsgálathoz készítünk tesztrajzolatokat.

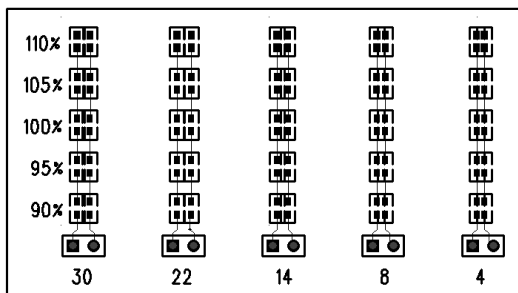
9. Zárlatképződés vizsgálata kisméretű ellenállásoknál

A zárlatképződés vizsgálatához ellenállásokat forrasztunk páronként. A párok között egyre csökken a távolság. A teszt-forrasztások után azt kell feljegyezni, hogy milyen távolságnál kezdenek forrasz-rövidzárak kialakulni (4. ábra.). A vizsgálathoz például 0603 méretkódú (1,5 x 0,75 mm) ellenállásokat alkalmazhatunk. Az ellenállás-párok között lévő távolság 762 µm-ről (30 mil) csökken 102 µm-re (4 mil).

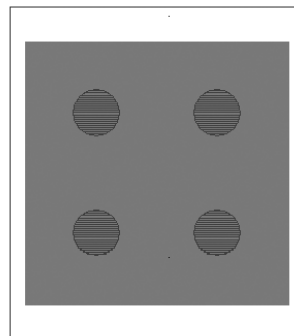
1. táblázat – Mértékegységek

mil (milli-inch) és mm átváltása	
1 mil	0,0254 mm

R Bridging 0603



Spreading 01



3. ábra: Mintázat a zárlatképződés vizsgálatához 0603-as méretkódú ellenállásokat alkalmazva

4. ábra: Területi kísérlethez alkalmazott mintázat

A mintázatnál a stencil apertúra is változik, az első sorban 10 %-kal nagyobb az apertúra a kontaktusfelülethez képest, az ötödik sorban pedig 10 %-kal kisebb. A 100%-os mérethez képest 5%-os lépésekkel módosulnak a sorokban rögzített értékek. A kísérlet a zárlatképződésen kívül alkalmas az alkatrészek melletti forraszgolyó-képződés (mid-chip balling) vizsgálatára is, mert a stencil apertúra négyzet alakú. A forraszgolyó-képződés megelőzhető megfelelően megtervezett apertúrákkal. A hibajelenség további vizsgálata már nem tartozik szorosan a mérési feladatokhoz.

10. Területi kísérlet (spreading test)

A területi kísérletnél nedvesíthető felületre nyomtatunk forraszpasztát kör formában, ismert átmérővel, majd a forrasztás után mérjük, hogy a paszta mennyire terült szét. Annál jobb az eredmény, minél nagyobb a terület. A kísérlethez a 2. ábrán lévő mintázat megfelelő, ahol a nyomtatott paszta mintájának átmérője 5,08 mm (200 mil). A kontaktusfelület 27,94 mm (1100 mil). Az ábrán a sötét terület jelöli a vezetőrétegre nyomtatott forraszpasztát, másképpen a stencilen kivágott apertúrákat. A vezetőréteg felett a forrasztásgátló maszkon ablakot nyitunk.

11. Felületi szigetelési ellenállás (SIR test)

A nagy impedanciás mérésnél a vezetópályákat fésű alakzatba rendezzük (3. ábra), amelyre nagy feszültséget kapcsolva (10 V, 50 V, 100 V) TeraOhm mérővel meghatározható a vezetópályák között lévő szigetelés ellenállása. A forrasztás után a paszta folyasztószer-maradványai csökkenthetik a szigetelési ellenállást. Minél kisebb ez a hatás, annál jobb a forraszpaszta minősítése.

A 3. ábrán a vezetópályák szélessége 406 μm (16 mil), míg a közöttük lévő táv 508 μm (20 mil).

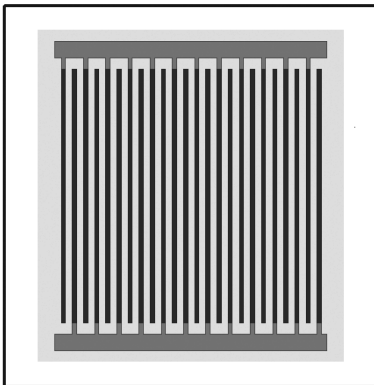
12. Hídképződési kísérlet (bridging test)

A hídképződési kísérletnél egyforma szélességű vezetősávokra merőlegesen nyomtatunk forraszpasztát páronként egyre csökkenő távolságban (4. ábra). Az ábrán vízszintesen a vezető rajzolat mintája, függőlegesen a stencil apertúra-párok láthatók.

A forrasztás után azt vizsgáljuk, hogy milyen távolságú pároknál fut össze a paszta (alakult ki híd), illetve milyen távolság esetében alakulnak ki különálló forraszfoltok. A nedvesítés annál jobb, minél nagyobb távolságról fut össze a paszta.

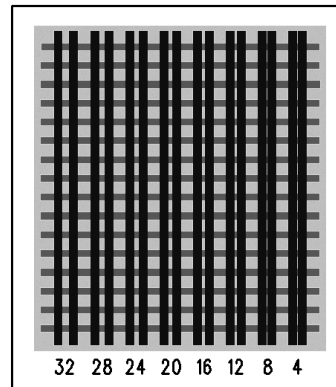
A vezetősávok szélessége 0,762 mm (30 mil), és a hossza 43,18 mm (1700 mil). A nyomatok szélessége 1,02 mm (40 mil) és párok távolsága 813 μm -ről 102 μm -re csökken 101 μm lépésekkel (32 mil-től 4 mil-ig, 4 mil-es lépésekkel).

SIR test



5. ábra: Szigetelési ellenállás méréséhez alkalmazott rajzolat

Bridging test



6. ábra: Hídképződés vizsgálatához alkalmazott rajzolat

A mérés menete

1. A minta szerelőlemezeken látható tipikus szereléstechikai hibák tanulmányozása.
2. A tesztlemez megtervezése Mentor Graphics PADS áramkörtervező szoftverrel.

(A részletes mérési segédletet a mérésvezető a gyakorlat elején kiosztja.)

I. Ellenállás rajzolat (footprint) szerkesztés a zárlatképződés vizsgálatához

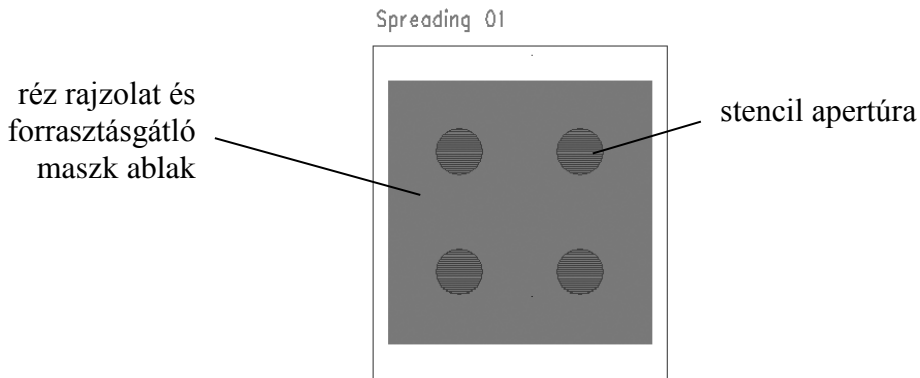
Az I-II. részfeladatok során alapszintű betekintést nyerünk az áramkörtervező munkafolyamatba. Első lépésben könyvtári (gyári) alkatrészekkel dolgozunk, a szabványos 0603-as ellenállás footprinteket kell a feladatban foglaltak szerint módosítani.

II. Az ellenállások elvi kapcsolási rajzának kialakítása, a layout kialakítása

Az elvi kapcsolási rajz tervezésénél az alkatrészek megfelelő rendezése és összekapcsolása a fő cél. A részfeladat során a kapcsolási rajz tervező és a layout tervező szoftverek közötti összeköttetésnek is fontos szerepe van. A layout tervet a kapcsolási rajzból importált adatokkal készítjük el. Aktív elektromos funkcionalitása ennek az áramkörnek értelemszerűen nincs, de tesztpadokat tervezünk az ellenállás-létrák alá az elektromos tesztelhetőség kedvéért.

III. Terülés teszt rajzolatának kialakítása

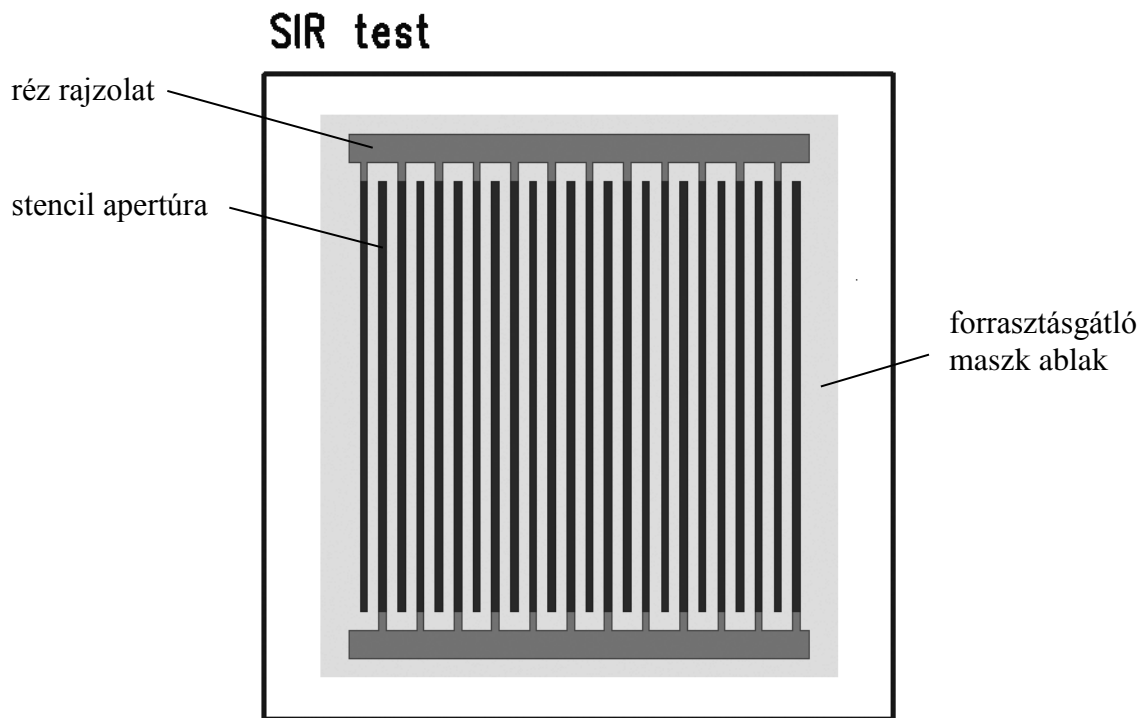
A terülés teszt rajzolata egy kitöltött réz vezető felületből áll. A felette lévő forrasztásgátló maszkon ablakot nyitunk, és stencilfólia apertúra-rajzolatokat is tervezünk, megfelelő kör geometriával. (5. ábra)



7. ábra: A terülés teszt rajzolata

IV. Felületi szigetelési ellenállás mérés rajzolatának kialakítása

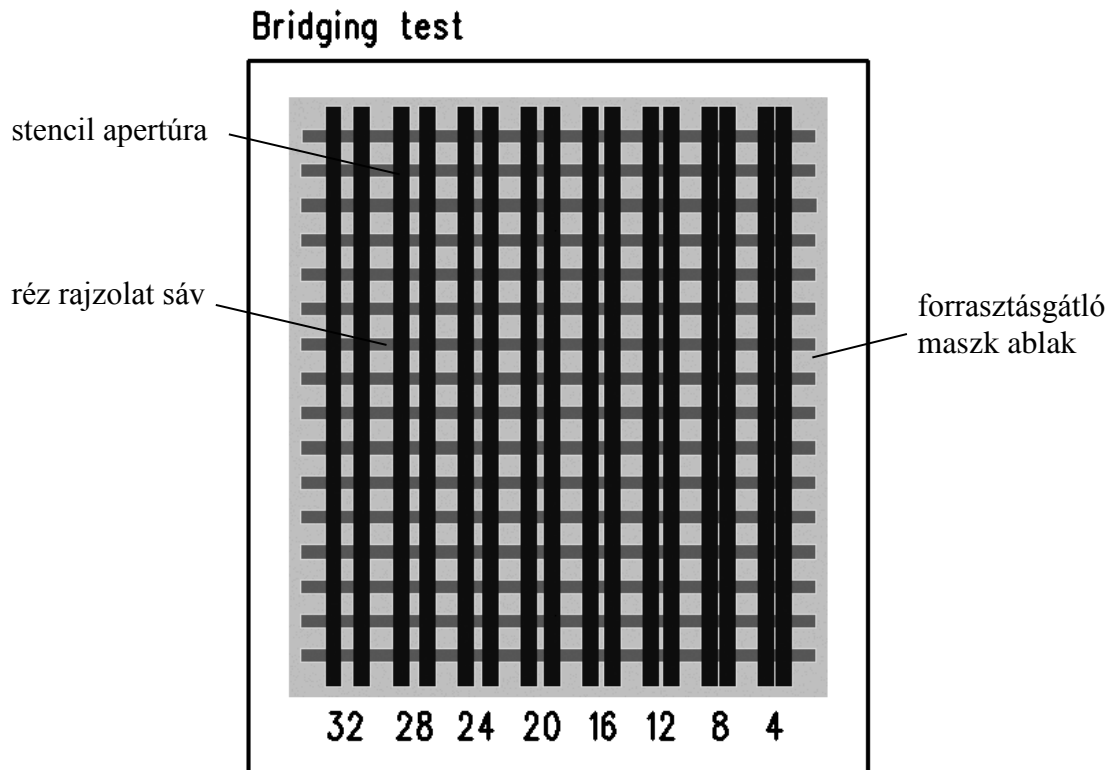
A felületi szigetelési ellenállás méréséhez a 6. ábrán látható mintát kell megrajzolni az előző részfeladat során megismert módszerekkel.



8. ábra: Szigetelési ellenállás tesztelésére létrehozott rajzolat

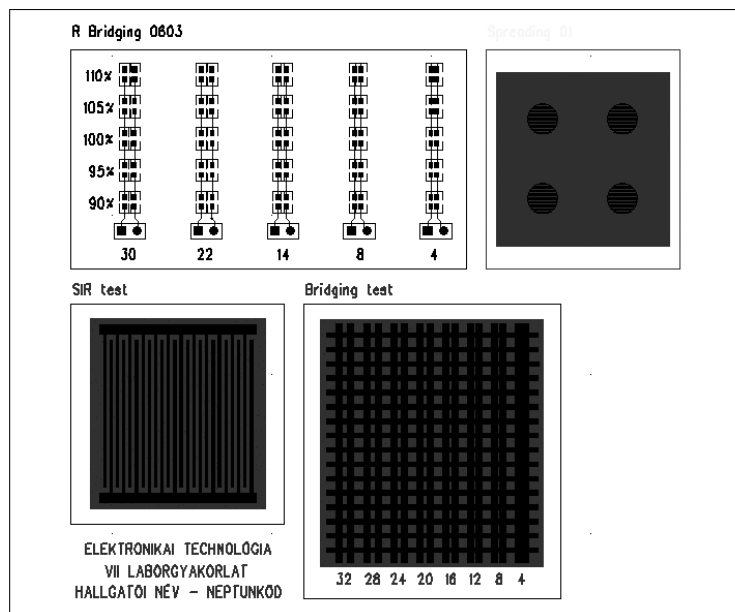
V. Hídképződés vizsgálat rajzolatának kialakítása

Az előzőekben megtanultuk használni a PADS Layout azon elemeit, melyek segítségével a különböző geometriai alakzatok egyszerűen megrajzolhatók a különböző rétegeken. A már ismert módszerek kombinációját alkalmazva kell a 7. ábrán található hídképződés-teszt mintáját is megrajzolni.



9. ábra: Hídképződés vizsgálatára kialakított rajzolat

A 8. ábrán az elkészült áramköri kapcsolás látható.



10. ábra: Az elkészítendő áramkör rajzolata

VI. A panel keretének megrajzolása, fiduciális jelek elhelyezése

A laborgyakorlat során a kész minta köré rajzoljuk a panel szélét jelölő "Board Outline" vonalat, másképpen a panel keretét. Az általános gyakorlat során előre megadott, korlátozott geometriai méretek közé kell tervezni a layoutot. Most az egyszerűség kedvéért a tervünk határozza meg a panel méretét, így a keretét is. A fiduciális jeleket a panel négy sarkában helyezzük el.

VII. Tervezés befejezése, gyártó fileok generálása

Az utolsó lépés a gyártó file-ok legenerálása, amely alapján a gyártó üzem elkészítheti a panelt.

VIII. Dokumentáció és a munka befejezése

A dokumentáláshoz a jellemző képernyő-nézeteket képlopással vágólappra másoljuk, és egy Word dokumentumba helyezzük, amelyben egyértelműen jelöljük a nevünket, Neptun kódunkat, a mérés dátumát, helyszínét és a mérésvezető nevét. A dokumentumot a mérés során használt munkamappába mentjük el.

A saját mappánk teljes tartalmát végül archiváljuk.

Ellenőrző kérdések

1. Mi a rajzolatfinomság?
2. Mi a felületi szigetelési ellenállás mérés lényege?
3. Mi a hidképződési kísérlet lényege? (Mire való ez a teszt? A teszt folyamata?)
4. Mi a területi kísérlet lényege? (Mire való ez a teszt? A teszt folyamata?)
5. Mi a zárlatképződési vizsgálat lényege? (Mire való ez a teszt? A teszt folyamata?)
6. Mi a fiduciális jel?