

# Új fémzési technológia és lézeres viakészítés furatfémzett flexibilis hordozók költséghatékony előállítására

Berényi Richárd

Elektronikai Technológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
1521 Budapest, Goldman t. 3., Tel.: 463-2740, E-mail: berenyi@ett.bme.hu

## 1. Bevezetés

Az elektronikai ipar fejlődésének folytán már nem csak az elektronikus eszközök, pl. chippek fejlesztése nélkülözhetetlen, hanem az ehhez a technológiához illeszkedő áramköri hordozóké is. Ezek közül már jelenleg is nagy jelentőséggel bírnak a flexibilis hordozók, melyek nem csak a chippek beültetési helyéül, hanem összeköttetéseként is szolgálnak. Polimer anyagok használata ilyen áramköri hordozók szigetelő és védő rétegeként előnyös mind teljesítmény mind költség szempontjából. Nagy huzalozás sűrűségű összeköttetések, tokozás vagy méretcsökkentés eléréséhez nélkülözhetetlen az átmenő furatok használata. Ehhez azonban már 10-30  $\mu\text{m}$  átmérőjű mikroviák kialakítására van szükség, hiszen a chip-kivezetések és kontaktuspadek is ebbe a mérettartományba esnek. Mechanikus fúrók használatánál az elérhető furarátmérő alsó határa megközelítőleg 100  $\mu\text{m}$ , következésképpen szükséges egy precízebb eszköz használata, mint például a Lézer. [3]

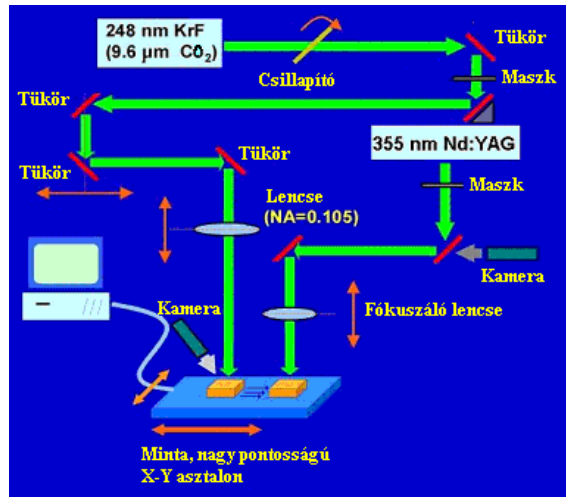
Három különböző hullámhosszt (9600 nm, 355 nm, 248 nm) használtunk anyageltávolítási kísérleteinkben, hogy megtaláljuk az optimális megmunkálási paramétereket. A jól fókuszálható UV sugár használatával lehetőség nyílt 10-25  $\mu\text{m}$  átmérőjű átmenő furatok készítésére 25-50  $\mu\text{m}$  vastag polimer hordozóban. A nagy energiájú, nagy ismétlési frekvenciájú (100 kHz) Nd:YAG lézerrel a minőség-sebesség optimalizálása esetén a tesztek szerint kb. 1500 furat készíthető másodpercenként.

A gyártási idő és ár csökkentésére és rajzolatfinomság növelésére kifejlesztettünk egy egyedülálló technológiát flexibilis hordozók rézzel történő bevonására. A technológia használatával a polimer fólia mindkét oldalára, illetve a már elkészített furatok falára egyszerre készítünk fém bevonatot (szabadalomban leírtaknak megfelelően [1]). Ez nem csak meggyorsítja az eljárást, hanem szükségtelenné is teszi a nehezen beszerezhető ragasztó anyagok használatát.

## 2. A lézer rendszer összeállítása [4]

A lézeres viakészítés új lehetőségeket kínál a huzalozási sűrűség növeléséhez, anélkül, hogy finomabb felbontású huzalozás kialakítására lenne szükség. A gyakorlatban a lézeres viakészítést két fázisban oldják meg. Első lépés a viafúrás, majd következhet az elektromos összeköttetés készítése furatfémzéssel, vagy a furat vezető anyaggal való teljes feltöltésével.

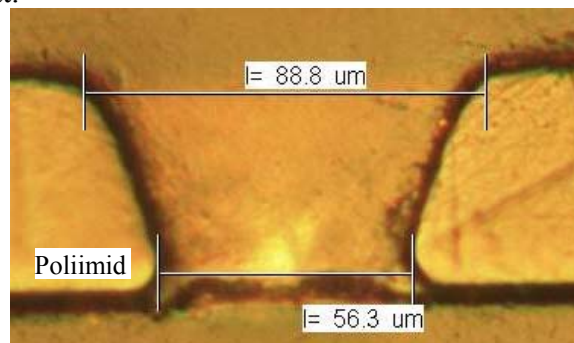
A felhasznált lézeres megmunkáló állomás három különböző, a mikroelektronikában leginkább használatos lézerforrást tartalmaz. Tervezésében törekedtek arra, hogy minél szélesebb tartományban lehessen a felszerelt optikai elemeket és maszkokat hangolni.



1. Ábra. A lézerrendszer összeállítása

A három lézerforrás egy közös fókuszáló mechanizmussal van ellátva, így pontos beállítás után egy egyszerű vezérléssel alkalmazkodhatunk az aktuális mintadarab vastagságához.

Előkészítésként az impulzus üzemi  $\text{CO}_2$  lézeres megmunkáló állomást teszteltük, mely optimálisnak tűnt nagy számú mintadarab előállítására. A megmunkáló állomás egy 60 W teljesítményű, Impact 2150T (Lumonics Company) típusú pulzus üzemi  $\text{CO}_2$  lézere épül. Az emittált fényt egy kb. 100-200  $\mu\text{m}$  átmérőjű pontba fókuszálhatjuk. Ezt a 9600 nm hullámhosszú sugarat a fémek visszatükrözik, viszont nagyon jól elnyelődik a polimer anyagok nagy többségében, hatékony, lokalizált melegedést okozva. A polimerek az érintett zónában megolvadnak és elpárolognak. Ezek a lézerek így eredményesen használhatóak nyomtatott huzalozású lemezek polimer anyagának, az üvegszál erősítésnek illetve fóliák, rendszerint kapton, parylen anyagának szelektív eltávolítására. A 2. ábra egy 50  $\mu\text{m}$  vastag poliimidbe fúrt 90  $\mu\text{m}$  átmérőjű viát mutat.



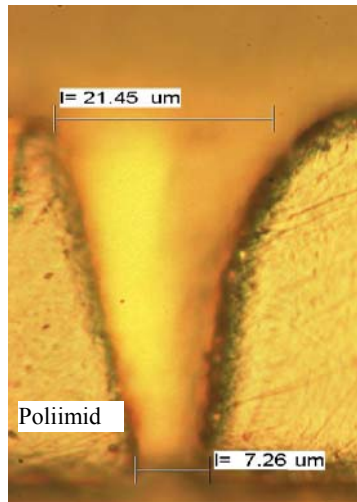
2. Ábra.  $\text{CO}_2$  lézerrel fúrt via

A 9600 nm-es  $\text{CO}_2$  lézer sugár használata elfogadhatatlanul nagy átmérőjű viákat eredményezett. Fontos kutatási cél volt, hogy kis átmérőjű furatok használatával nagy rajzolatfinomságot érjünk el. A furatfal megfelelően függőleges, szenesedéstől mentes és furatfémezhető volt, azonban a 90  $\mu\text{m}$ -es legkisebb viaátmérő miatt eltekintettünk a további kísérletezésektől. [5]

Második választásunk az **excimer** lézer volt, mely max. 300 Hz-es frekvencián 15 mJ energiájú, 248 nm UV hullámhosszúságú impulzusokat bocsát ki. Ez a hullámhossz nagy hatásfokkal nyelődik el, de csak néhány anyagban. A nagyenergiájú fotonok becsapódásának hatására a

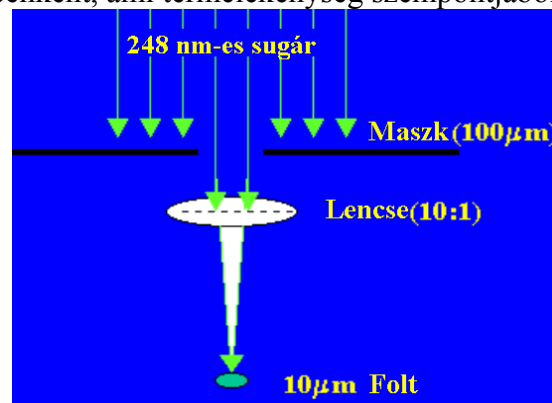
polimerek molekuláiban a kötések felszakadnak és csak kis hőhatást fejtenek ki, aminek köszönhetően a sorjaképződés minimális lesz.

Ez a lézer egy kb. 3\*6 mm keresztmetszetű, téglalap alakú sugarat bocsát ki, melyet maszkon keresztül egy 10-500  $\mu\text{m}$ -es felületre koncentrálnak képvetítési eljárással (4. ábra). A 3. ábrán egy excimer lézerrel fúrt viát láthatunk. A sugár foltátmérője 10  $\mu\text{m}$  körül van a fókuszpontban, így e körüli furatátmérőt várunk.



**3. Ábra. excimer lézerrel fúrt via**

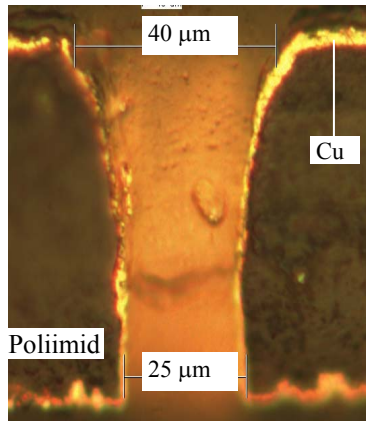
Ez a típusú mikrovia elfogadható ipari termelésben, de a lézer fúrási sebessége nem megfelelően gyors, több mint száz lövés kellene átmenő furat készítéséhez. Ez abból adódik, hogy a nagyenergiájú, téglalap alakú sugárnak 10  $\mu\text{m}$  átmérőre való vetítéséhez 100  $\mu\text{m}$ -es maszk használatára van szükség (4. ábra), így a maszkolás után a kezdeti 15 mJ helyett már csak 6,5  $\mu\text{J}$  energia marad impulzusonként. A maximum 300 Hz-es működési frekvencián ezzel is csak 2-3 furat készíthető másodpercenként, ami termelékenység szempontjából nem elégséges.



**4. Ábra. Maszkolás és vetítés**

Az általános ipari használat ösztönzött bennünket arra, hogy kipróbáljuk az UV Nd:YAG lézer használhatóságát. Ezek egyre elterjedtebbek a mikroelektronikában, mivel sugaruk jól elnyelődik az alkalmazott merev illetve flexibilis hordozók anyagaiban. Ez a lézerforrás 3-7 ns hosszúságú impulzusokat generál legfeljebb 100 kHz ismétlési frekvenciáig, maximum 520  $\mu\text{J}$  impulzusenergiával. A 1064 nm-es sugár harmadik felharmonikusa elnyelődik a legtöbb anyagban, a magas csúcsteljesítménynek és a rövid impulzushossznak köszönhetően, viszonylag minimális hőhatással. Fémek, polimerek, kerámiák könnyen vághatóak, fúrhatóak, habár a lézerimpulzusok

kontrollált használatával szelektív anyageltávolítás is lehetséges, például eltemetett kontaktusfelülethez ablak nyitása a polimer eltávolításával. Saját kísérleteink is bizonyították, hogy a 355 nm-es lézersugár megfelelő eszköz mikroviák fúrására; nagy energiával a rézréteg teljes átfúrása, míg kisebb energiával a rézréteg tisztítása lehetséges. Megfelelő optika használatával és fókuszálással 20-150  $\mu\text{m}$  átmérőjű furatok készíthetők. A következő képen egy UV Nd:YAG lézerrel fúrt, furatgalvanizált via látható. [5]



**5. Ábra. YAG lézerrel fúrt via 50  $\mu\text{m}$  vastag poliimidbe**

A furat átmérője 25-40  $\mu\text{m}$ , valamint vékony (1-2  $\mu\text{m}$ ) rézréteget is kialakítottunk már a felületen.

A táblázatban láthatóak a lehetséges, optimális fúrási paraméterek. A vastagon szedett paramétereket használtuk a végleges mintadarabok előállítására. A paraméterek kiválasztásánál itt törekedtünk a sebesség maximalizálására, ezért választottuk a 100 kHz-es frekvenciát.

Anyag	Optimális Paraméter beállítások		
	Frekvencia	Lövészá m	Energia [ $\mu\text{J}$ /pulzus]
25 $\mu\text{m}$ PI	10 kHz	12	520
	10 kHz	25	168
	100 kHz	40	6.2
50 $\mu\text{m}$ PI	10 kHz	20	520
	10 kHz	35	168
	<b>100 kHz</b>	<b>50</b>	<b>6.2</b>

**1. Táblázat. Optimális paraméterek**

Meg kell azonban jegyezni, hogy frekvencia növelésével az impulzusenergia csökken, tehát több lövésre van szükség. (Kísérletek útján az is bebizonyosodott, hogy a furat minősége nagyobb frekvencia használatával jobb lesz).

### 3. Cu leválasztás

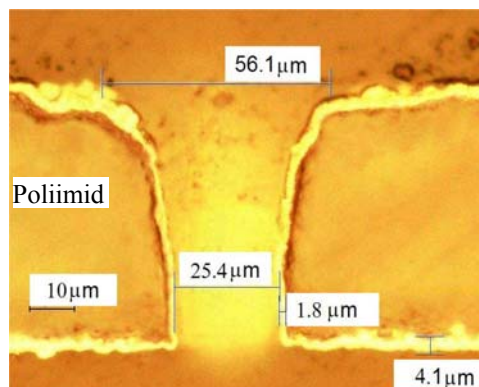
A poliimid hordozók rendkívül jó fizikai és kémiai jellemzőkkel bírnak, tehát kiválóak használhatók dielektrikumként. Ennek köszönhető, hogy széles körben elterjedtek az elektronikai iparban nyomtatott áramköri hordozóként, hibrid áramkörökben, illetve félvezetők (chipek, multi chip modulok) hordozójaként. A poliimidek a magasabb hőmérsékletnek és legtöbb vegyszernek is ellenállnak. Ez azonban nehezíti munkánkat abban, hogy az eddig használatos eljárásokkal fémot válasszunk le felületükre.

Az iparban a laminált rézréteg és a poliimid közé ragasztó réteget visznek fel. Melegítéskor, például forrasztási technikáknál, illetve furatfémzéshez használt vegyszerek hatására ez azonban meglágyulhat, ezzel csökkentve a rétegstruktúra stabilitását.

Kutatási cél volt tehát egy olyan eljárás kidolgozása, ahol laminálási fázis és ragasztó nélkül, csupán kémiai eljárással lehet áramköri hordozót készíteni. További cél volt egy kb. 5-10  $\mu\text{m}$  vastag, jól tapadó rézréteg poliimid felületre illetve furatokba történő, egy lépéses leválasztása. Egy ilyen eljárás sokban egyszerűsítheti, gyorsabbá és olcsóbbá teheti a flexibilis nyomtatott huzalozású lemezek készítését, hiszen lehetővé teszi a tekercsről tekercsre való gyártást, megőrizve a nagy rajzolatfinomság lehetőségét.

Ezt szem előtt tartva a feladat adott volt: kereskedelemben kapható anyagok felhasználásával nagysűrűségű, finom rajzolatú, megbízható hordozó alacsony költségű gyártása. Fontos szempont volt, hogy ne használjunk környezetre ártalmas vegyszereket, mint pl. a cianidok. Mindent összevetve választásunk az elterjedt FR4-es technológiára, a Shipley féle fémleválasztásra esett [6]. Az első próbálkozásunk kétes eredménnyel zárult: egyenes rézréteg keletkezett a poliimid felületén, azonban minimális tapadással. A réz egyszerűen lemosható volt a felületről.

Két éves kutatás eredményeképpen kiemelkedő minőségű hordozót sikerült előállítani. A 6. ábrán látható 50  $\mu\text{m}$  vastag poliimid hordozónak mind a két oldalán, és a furatokban is összefüggő rézréteg keletkezett.

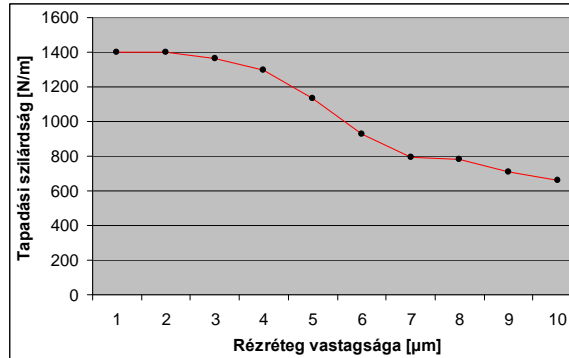


**6. Ábra. Furatfémzés**

Kiinduló hordozónak szabványos 25 és 50  $\mu\text{m}$  vastag poliimid hordozót választottunk az UBE gyártól. A kívánt minőség eléréséhez jelentős átalakításokat kellett véghezvinni a vegyületek összetételében, új lépéseket kellett beiktatni és feleslegessé váltakat kivenni a sorból. A változtatások kiterjedtek a hőmérséklet, idő, mozgás és adalékanyag módosításra. A hozzáadott lépések magára az árammentes rézleválasztásra vonatkozóan nagyon fontos változtatások, melyek nemzetközi szabadalom alá kerültek. A felhasznált új adalékanyag a kötések kialakítását segíti a polimer hordozón a kezdeti rézréteg kialakításához.

#### 4. A folyamat

A lézeres fűrés után kémiai tisztítás és előkezelő savas fürdő következik, hogy a fűrés, mozzgatás során a hordozóra került szennyeződések eltávolítsuk. Ez a minta kerül a módosított Shipley féle, palládium katalizátor alapú, árammentes rézleválasztó sorra. Az előkészítő lépések után kerül a szabadalomban tárgyalt adalékanyagot tartalmazó magas hőmérsékletű (50°C) fürdőbe. Ebben a lépésben az alkalmazott hosszúláncú molekulák erős, hálószerű kötéseket alkotnak a poliimid felületén, melyhez már a fém atomok hozzákapcsolódhatnak. A második árammentes rézfürdőben egyenletes, jó tapadású, kb. 500-700 nm vastag rézréteg jön létre mind a felületeken, mind a furatokban. Ennél vastagabb árammentes réz kialakítása azonban már nem hatékony és nem is hatékony, viszont jó alap a galván rézrétegnek [2]. Ehhez szintén a Shipley cég elterjedt vegyületeit használjuk. Az elektromos úton felvitt rézréteg vastagsága a folyamat idejének hosszával beállítható, mintáinkon az 5-10 µm vastagság elérésére törekedtünk, mivel a vastagság növelésével a tapadási szilárdság csökken (1. grafikon).



1. Grafikon. Rézréteg tapadási szilárdsága

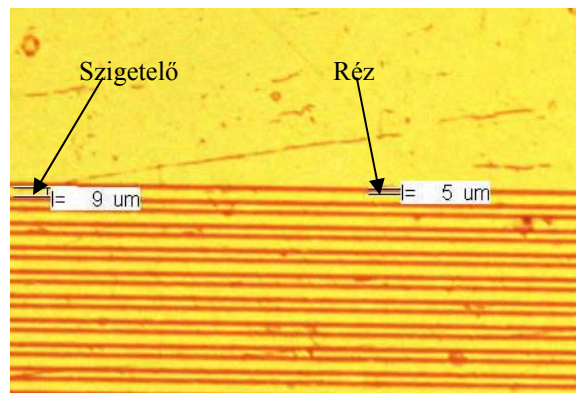
Ezzel az eljárással sikerült a kezdetekben kitűzött céljainkat elérni: csak kereskedelmi forgalomban levő, nem agresszív, nem környezetszennyező vegyületeket használtunk, az FR4-es technológiával összeegyeztethetően. Mindamelllett, hogy sikerült a kitűzött 10 µm-es vastagságot elérni, a rézréteg tapadása kielégítő (min. 650 N/m), valamint a négyzetes ellenállása is megközelíti a hagyományosan laminált rétegét.

Pillanatnyilag a minták elektromos tesztelését és kiértékelését végezzük.

Legfőbb szándékunk poliimid fóliából flexibilis áramköri hordozók készítése, tehát a mintázatkialakítás még hátra van. Mint a fémleválasztásnál, itt is egy hagyományos eljárást alkalmazunk, így a fotolitográfias eljárást is csak kis mértékben (koncentráció és idő) kellett módosítani a kívánt eredményhez.

Attól függetlenül, hogy a keletkezett két réteg (5-700 nm kémiai és 5-10 µm galván réz) szerkezetileg eltérő, nem kell különböző összetételű, vagy adalékolású marószert használni hozzájuk. A mintázat kialakítása egy lépésben történt, azonban fontos a pontos maratási idő meghatározása a rézréteg vastagságának függvényében azonban a nem kívánt alámaradás elkerüléséhez. A szükséges maratási idő táblázatok alapján határozható meg.

A legjobb rajzolatfinomságm, melyet kis hibaszázalékkal, több egymás utáni mintán is el lehetett érni, kb.  $14\ \mu\text{m}$  volt ( $5\ \mu\text{m}$ -es vonalak,  $9\ \mu\text{m}$ -es csíktávolsággal) melyet a 7. ábrán láthatunk.



**7. Ábra.  $14\ \mu\text{m}$ -es rajzolat a poliimid hordozón**

Ennél nagyobb felbontás már elfogadhatatlanul sok hibát okozott, tehát ilyen irányban már nem folytattuk a kísérleteinket.

## 5. Teszt áramkör

Az elsődleges teszteléshez egy egyszerű vialáncot használtunk. A teszteléshez használt  $50\ \mu\text{m}$  vastag poliimid+ $7\ \mu\text{m}$  vastag réz hordozón  $100\ \mu\text{m}$  széles huzalok és  $500$  db  $20\ \mu\text{m}$  átmérőjű furat volt láncba kötve. A végső teszthez azonban erre a célra készített BGA chip-et és Flip chip-et fogunk használni, melyeket több száz fémezett viával kötünk össze.

Az eredményekből arra következtethetünk, hogy mind kis sorozatszámú prototípus készítésre, mind nagy számú minták előállítására alkalmas a kidolgozott technológia.

## Konklúzió

Az elektronikai ipar fejlődése a miniatürizálással nem csak a chipék méretét, hanem a kivezetéseik számát is növelte, megkövetelve a rajzolatfinomság növelését. Ehhez azonban már új fajta hordozókra van szükség. Kézenfekvő lehetőség poliimid alapú flexibilis hordozók használata, azonban ezek még a mai napig is drágábbak a hagyományos merev hordozókhöz képest. Kutatásunk eredményeképpen létrehozott flexibilis hordozó jó alternatívát jelenthet az ipar számára. A lézeres fúrással egybekötött fémleválasztás használatával az eljárás termelékenységé növelhető.

*A fent említett kísérletek zöme az ELIS-TFCG tanszéken (Genti Egyetem, Belgium) készült a Magyar-Flamand kétoldalú együttműködés keretén belül. A szerzők külön köszönetet szeretnének mondani a partner intézet munkatársainak, kifejezetten Jan Vanfleterennek, Sam Siaunak és Johann de Baetsnek a szakszerű tanácsaikért és együttműködésükért.*

Irodalomjegyzék:

- [1] „Fémezési eljárás”, bejegyzés alatt levő EU-US szabadalom.
- [2] *Losonci, Pető, Tihanyi: Galvanotechnikai zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1992*
- [3] Illyefalvi-Vitéz Zsolt: Laser processing for microelectronics packaging applications - Microelectronics Reliability 41 (2001) 563-570 oldal
- [4] Harry J. E., “Ipari lézerek és alkalmazásuk”, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1995
- [5] Gordon P., Berényi R: Laser Processing of Flexible Substrates. IMAPS, Denver, USA, 3-6 September, 2002 pp. 494-499.
- [6] <http://www.rodell.com/pwb/metallization/> Shipley Company.