



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Elektronikai Technológia Tanszék

# HAJLÉKONY ÁRAMKÖRI HORDOZÓK LÉZERES MIKROMEGBUNKÁLÁSA TÉRBELI ALAKZATOK KIALAKÍTÁSÁHOZ

---

PHD TÉZISFÜZET

BERÉNYI RICHÁRD

Tanszékvezető: Dr. Harsányi Gábor egyetemi tanár  
Témavezető: Dr. Illyefalvi-Vitéz Zsolt egyetemi docens

BUDAPEST

2010

## A kutatások előzménye

A mikroelektronikai iparág fejlődésének hatására a fejlettebb, kisebb raszter osztású elektronikus eszközök elterjedése megkövetelte az áramköri hordozók fejlesztését. A merev hordozókon kívül már jelenleg is nagy jelentőségűek a hajlékony hordozók, melyek a chippek beültetési helyén túl összeköttetéseként is szolgálnak. Ezeket a hordozókat megfelelő előkezelés után hajtogathatjuk háromdimenziós elrendezésre. A célkitűzéseim között szerepel annak a problémának a megoldása, hogy a már tokozott alkatrészekkel szerelt hajlékony hordozót hogyan lehet eredményesen, tartósan és megbízhatóan háromdimenziósra formálni.

A méretcsökkentés és a működési sebesség növelés megvalósítása új technológiai eljárások és/vagy új anyagok mikroelektronikai alkalmazását teszik szükségessé. Az új technológiai eljárások között mind nagyobb a szerepe a lézeres mikro-technikáknak. A lézeres mikro- vagy akár nano-megmunkálásoknak közös kedvező tulajdonsága, hogy gyorsabb, rugalmasabb, jobban kézben tartható és bizonyos esetekben olcsóbb, mint az egyes hagyományos technológiák. Az ipari anyagmegmunkálás területén a CO<sub>2</sub> és az Nd:YAG lézerek a legelterjedtebbek, melyeknek hullámhossz és működési elvbeli különbségük alapvetően meghatározzák alkalmazási lehetőségeiket. Felhasználásukkor figyelembe kell venni, hogy a forgalomban levő áramköri hordozókban a lézer-anyag kölcsönhatás a felhasznált lézersugártól függően más és más lehet. A villamos ipar a polimereket hosszú ideig kizárólag szigetelőanyagként alkalmazta. A polimerek azonban a mikroelektronikában többféle célra használhatók. Ezek az alábbiak: szigetelőréteggént, tokozó anyagként, védőréteggént, hordozóként, vezetőréteggént és az aktív alkatrészek anyagaként. Napjainkban a fejlett hajlékony áramköri hordozók polimer alapanyagúak, a fejlett áramköri hordozók egyik legelterjedtebb típusa.

Kutatómunkámban a hajlékony áramköri hordozók egyik leggyakrabban alkalmazott alapanyagát, a poliimidet vettem vizsgálat alá, elsősorban azzal a céllal, hogy háromdimenziós áramkörök hordozójaként való alkalmazhatóságát vizsgáljam. A hordozó mikromechanikai formálásához precíz, nagy pontosságú lézer berendezésre volt szükségem, amely célra a tanszéki UV Nd:YAG lézer felelt meg.

A poliimidek térbeli formálhatósága közben felmerülő problémákat már 1976-ban (IEEE Transaction on Manufacturing Technology) elkezdtek kutatni. A hajlékony hordozó eredményesen háromdimenziósra formálásának kulcsa lehet a lézeres vágatok készítése, amely mentén a hordozó meghajlik, és a rézvezető merevségének köszönhetően képes egy „önmagát megtartó” térbeli alakzat felvételére.

A formálás, hajlítás hatására kialakuló megnyúlás és gyűrődés jelenti az egyik, míg a réz vezető mechanikai és elektromos degradációja a másik problémát. Szakirodalom szerint meghatározható egy minimális hajlítási sugár, amely kb. a hordozó vastagságának 3-6 – szorososa, de nem szimmetrikus felépítésű hajlékony hordozó esetén bonyolultabb nyúlás-feszültség számításra van szükség.

A poliimid lézeres mikromegmunkálása szintén régi kérdéskör. Körülbelül 25 éve vizsgálják a lézeres abláció tématerületét, mely a mikromegmunkálás alapja. Ilyenkor az anyag eltávolítását néhány négyzetmikrométertől néhány négyzetmilliméteres felületen hatjuk végre, az anyageltávolítás mélységét tekintve mikrométeres nagyságrendben. Munkám során a lézerpásztázások számával és a befutott út alapján tervezhető a kialakítandó forma (V, U,... keresztmetszetű vágatok). Régebben elsősorban excimer lézerről nyert impulzusokkal érték el a mikromegmunkálást, míg az utóbbi tíz évben kerültek az alkalmazástechnikai kutatólaborokba a röntgen-litográfia, az elektronsugaras litográfia, a pásztázó ionsugaras litográfiai megmunkáló és UV Nd:YAG lézerek.

## Célkitűzés

A kutatómunkám célja egy olyan mikromegmunkálási technológia kidolgozása, amely tervezhetővé teszi a poliimid anyagok lézerrel segített, előre tervezhető formálását. Ezáltal lehetővé válik hajtogatással háromdimenziós összeköttetések és hordozók kialakítása. Az elkészülő modell alapján lehetőség nyílik egy olyan tervezési szabályokat tartalmazó eszköz fejlesztésére, amely az egyes gyártmányok gyártási dokumentációi alapján előállítja a lézeres megmunkálás terveit a háromdimenziós hordozó előállításához.

Saját lézeres megmunkálási modell alkotását az előzményekben felsorolt okokon kívül az is motiválta, hogy a szakirodalom tanulmányozása során nem talákoztam olyan jellegű kutatásokkal, amelyek figyelembe vették volna a poliimidek háromdimenziós áramkörü alkalmazhatóságát elősegítő mikromegmunkálását. A legelterjedtebb eljárások kizárólag a fúrás, vágás, gravírozás területre koncentrálnak, kevés publikáció még foglalkozik a szelektív anyageltávolítás problématerületével is, de ott teljes anyageltávolítás történik, míg munkámban a gépészetben elterjedten alkalmazott mechanikai kikönnnyítést használom a hajlíthatóság érdekében.

A lézeres modell feladata annak megválaszolása, hogy adott energiájú lézer pásztázása miként befolyásolja az alaphordozó hőmérsékletét, illetve az egymás után érkező pásztázások különálló esetekként kezelhetőek-e, vagy figyelembe kell venni a hordozó előéletét. A szimuláció eredményeként előre definiálhatóvá válik, hogy milyen mennyiségű anyagot tudunk eltávolítani a poliimidekből a lézersugár sebessége, teljesítménye és impulzusenergiájának függvényében. A szimulációs eredményeket kísérleti úton igazoltam, a mért és számítással kapott értékeket összevettem.

A szakirodalomban, illetve a legújabb kutatásokban kétféle irányzatot követnek térbeli kialakításokra:

- Integrált áramkörü alkatrész szinten a szilícium chipok egymásra helyezhetősége a cél. Tokozáson belül később bonthatatlan kötésekkel oldják meg a vertikális irányú tér kihasználását. A szétválasztott szilícium chipokat utólag mikrohuzalokkal, vagy forraszgolyókkal kötik egymáshoz.  
Egy, még csak kutatási szinten létező eljárás alkalmazásával a szilícium chipokat még a szeletből való kivágásuk előtt átmenő viákkal egymáshoz rögzítik (TVS, Through Silicon-wafer Vias). Ezzel alakítanak ki vertikális irányú huzalozási pályákat.
- Alkatrészek tokozás utáni háromdimenziós elrendezésére szintén létező technológia. Ebben az esetben kétdimenziós tervezés és elrendezés után a hajlékony hordozót további előkezelés nélkül behajtogatják a dobozba. A hajlékony hordozó stabilitását mechanikai rögzítéssel, pl. ragasztással oldják meg. Erre azért van szükség, mert bár a hordozó hajlékony, nagyfokú rugalmasság hatására a hajtogatás után visszaállna az eredeti kétdimenziós formájára.

Arra keresem a választ a második probléma megoldása során, hogy a már tokozott alkatrészekkel szerelt hajlékony hordozót hogyan lehet eredményesen háromdimenziósra formálni. Mivel a lézeres kísérletek és a modell alapján a hordozó mikromegmunkálása jól kontrollálható, ezért a lézeres technológia alkalmazásával kiküszöbölhető a hordozó eredeti alakba való „visszaalakulása”. A hordozó képes egy „önmagát megtartó” térbeli alakzat felvételére.

A szakirodalmi kutatásaim során feltártam, hogy a hajtogatott hordozó használatával további probléma az összehajtogatott szerkezeten belüli hő akkumulálódása, és így az IC-k túlmelegedése. Egy összehajtogatott rendszer esetén a hőelvezető rendszer beépítése nehezen megoldható feladat. Kutatásaimban erre is kerestem a megoldást. A hőmérséklet eloszlás feltérképezéséhez szimulációt használtam, amellyel nagy teljesítményű IC-k esetén is megmondható a maximális működési hőmérséklet.

## Vizsgálati módszerek

Az értekezésben leírt lézeres kutatásaimat elsősorban egy Coherent AVIA 355-4500 típusú, 355 nm hullámhosszúságú UV Nd:YAG lézerrel végeztem, amelynek sugarát egy Raylase Razorscan pásztázó-fejjel térítettem el, továbbá a minta pozícionálását egy 1 µm-es pontosságú X-Y asztallal oldottam meg. A nyaláb irányítására és fókuszálására használt optikai elemek által meghatározott legkisebb fókuszfolt átmérő 25 µm. A lézer legnagyobb impulzusenergiája kb. 200 µJ.

Vizsgálataimat az elektronikai technológiában egyik leggyakrabban alkalmazott hajlékony áramköri hordozó alapanyagon, a poliimiden végeztem el, az alábbi DuPont gyártmányra koncentrálni: Kapton® HN (Pyrallux) három különböző poliimid-ragasztó-réz összetételre melyek vastagsága rendre: FR9120R hordozóra 50-25-35, FR9130R hordozóra 75-25-30, FR9150E hordozóra 125-25-35 µm. Ezeknek az anyagoknak a sajátossága, hogy szilárd halmazállapotukat legalább 500 °C-ig megőrzik, fölötté ablálódnak. Ezzel a szimulációs feltétellel könnyen követhető az anyageltávozás.

A 355 nm-es lézernyaláb és a poliimid kölcsönhatására jellemző, hogy az UV tartományban a felületi reflexió integrátor gömbsel ellátott spektrofotométeres mérések alapján kb. 6 %-os, a fennmaradó energiának pedig 99 %-a elnyelődik, tehát a betáplált energia 93 %-a az elsősorban hőhatáson alapuló ablációs folyamatra fordítódik. A sugárzás exponenciális elnyelését szimulációval szintén kimutattam.

A kísérletek végzése során a lézerforrás különböző teljesítmény beállításai mellett végeztem anyageltávolítási kísérleteket. A lézersugár pásztázási sebességével szabályoztam a felületegységre eső energia értékét. A kialakult formák alakját és méretét keresztmetszeti felvételeken mikroszkóp segítségével határoztam meg. A több µm-es behatolási mélység esetén ezen optikai módszer is kellő pontosságú eredményeket biztosít, bár a szakirodalomban publikált eljárások (pl. atomerő mikroszkópos vizsgálat, mikromérleges tömegvesztés vizsgálat) is alkalmazhatóak lennének.

A hajlékony hordozó mikromegmunkálása utáni mechanikai paramétereit szabvány szerinti mérésekkel hasonlítottam össze a még érintetlen hordozóéval. Az egyik eljárás a hordozó szakítószilárdságának meghatározása volt. Szabvány szerinti alakú és méretű próbatesteket vágtam ki a hordozóból, melyeket számítógépes összeköttetéssel rendelkező szakítószilárdság mérő berendezés segítségével teszteltem, folyamatos erő-elmozdulás függvény felvétele mellett.

A hordozó viselkedését vizsgáltam dinamikus igénybevétel esetére is. Ebben az elrendezésben a dinamikus hajlítás következtében bekövetkező réz vezető elektromos ellenállásának növekedését mértem. Mivel a szabvány szerinti próbatest meander alakú vezetőt tartalmaz, annak elszakadása, vagy jelentős ellenállás növekedése könnyen detektálhatóvá vált. Az vezető elektromos ellenállását a megtett ciklusok függvényében automatikusan számítógépre rögzítettem, majd a megmunkálás

nélküli hordozóval összehasonlítottam. Az eredmények tükrében elmondható, hogy a lézeres megmunkálás a poliimid-réz hordozó dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenálló képességét jelentősen megnövelte: az élettartam a hatszorosára változott.

## Új tudományos eredmények

1. TÉZIS: Számítógépes modellt alkottam a poliimid alapú hajlékony áramköri hordozók dielektrikum rétegének 355 nm-es hullámhosszú, UV Nd:YAG lézeres mikromegmunkálására. Meghatároztam ennek segítségével a lézersugár pásztázása közben kialakuló hőmérséklet eloszlást. Bebizonyítottam, hogy a 100 ms ciklusidővel érkező lézernyalábok esetén a hordozó vissza tud hűlni a kiindulási hőmérsékletre, ezáltal nem kell figyelembe venni hő-akkumulációt. Lézerbehatás utáni, keresztmetszeti minták mérésével megerősítettem a szimulációs eredmények helyességét, melyek nagy biztonsággal (90%) leírják a lézersugár vonal menti hőmérséklet eloszlását. A modellben változó felbontású rácsot használok véges elem módszerű szimulációs számításokhoz, melyben a lézersugár behatolási területén 1  $\mu\text{m}$ , míg ettől távolodva lineárisan növekvő rácsméretet alkalmazok.

A téziszhez kapcsolódó közlemények: L1, R1

2. TÉZIS: Új módszert dolgoztam ki térbeli alakzatok megalkotására, melynek az alapja a lézeres mikromegmunkálással történő „V” keresztmetszetű bevágások kialakítása poliimid hordozóba. A szelektív anyageltávolítási folyamat közben a „V” alakzat létrehozását több lépésben tengely szimmetrikusan a középvonal felé egyre több párhuzamos lézersugár pásztázással érem el. Ennek segítségével a hordozó hajlítását előre definiált vonal mentén és szögben végzem el. Mérésekkel bizonyítottam, hogy poliimid-réz rendszerű hajlékony áramköri hordozó esetén az egymás mellé elhelyezett több egyforma „V” alakú vágás következményeként a szakirodalomban található biztonságos hajlítási sugár 1/6-a is elérhető. Ez a hajlítási sugár nem rontja az elektromosan összekötő réz réteget. A bevágások szögének és darabszámának számítógépes modellezésével bizonyítottam, hogy az egymás mellé helyezett 10 db 9 fokos bevágással a mechanikai feszültség 85%-ra csökkenthető a bevágás nélküli esethez képest. Ez további 20%-al csökkenthető, ha a bevágásokat egymástól legalább 10  $\mu\text{m}$  távolságra helyezzük el.

A téziszhez kapcsolódó közlemények: L2, L3, L5, R1, R3, R7, R9, (L4, R5, R8, R10)

3. TÉZIS: Kísérletekkel és szabvány szerinti mérésorozattal bizonyítottam, hogy a tervezett deformáció használatával a rendszer mechanikai stabilitása nem romlik. A poliimid réteg vékonyításával a hajlékony hordozón kialakított hajlítási élek mentén a szakító szilárdság csak 15 %-al csökken, míg a dinamikus igénybevétel során 500 %-al több hajlítási ciklus is elérhető.

A tézishoz kapcsolódó közlemények: L4, L5, R2, R3, R4

4. TÉZIS: Elkészítettem az előző tézisekre alapozva egy több IC-ből álló, kocka alakzatú háromdimenziós áramkör fizikai reprezentációját, valamint annak termikus modelljére alapozva bebizonyítottam, hogy megfelelő hűtési technológia alkalmazásával az integrált áramkörök működési hőmérséklete nem fogja meghaladni az ajánlott 85 °C-ot. 5 db IC-t helyeztem el a kocka lapjain, és a 6. felső lapon keresztül csatlakoztattam a speciális hűtőcsöves hő elvezető rendszert. A modell szerinti keresztmetszetben a legmelegebb pont a legalsó integrált áramkörnél alakult ki, mely kb. 70 °C.

A tézishoz kapcsolódó közlemények: L3, R2, R3, R4 (L4)



## **Az eredmények hasznosítása – további kutatási feladatok**

A kutatás eredménye egy modell, amely a lézer sebességéből és teljesítményéből kiindulva leírja az anyagban keletkező hőmérséklet értékeket, kijelöli az ablálási küszöbhőmérsékletnél magasabb hőmérsékletű térfogatot, ahonnan a hordozóból eltávozik az anyag. Ennek a modellnek a felhasználásával lehetőség nyílik különböző formájú és mélységű alakzatok kialakítására poliimid hordozóba, valamint az eredménye a Genti egyetemmel közös BSTC és Európai Unió Flexil projektben felhasználásra került. Poliimid lézeres megmunkálására vonatkozó kutatásom eredményeit sikeresen alkalmazzák ipari körülmények között is (Freudenberg Mectec Hungary Bt., Bosch Hungary Kft.), valamint több független hivatkozásként nemzetközileg is elismerik.

Az ismertetett eredmények felhasználási célja az iparban már tanulmányozott, bevezetésre még nem került háromdimenziós hordozók kialakítása tokozott alkatrészek számára. A struktúrák lézerral segített kialakításának bevezetése költséges és időigényes feladat, de megfelelő elektronikai alkalmazás esetén előnyt jelenthet. További előny a nagyteljesítményű elektronikák alkalmazásánál, hogy a hőelvonó felületet nem kell különálló alkatrészenként megoldani, hanem egy hűtőfelület is elegendő pl. a tézisekben említett 5 db integrált áramkör számára.

A BME-ETT-n több prototípus szintű termék elkészítésével demonstrálni tudtam, hogy az általam kidolgozott technológiai megoldások hasznosak, az ipar számára hosszú távon felhasználhatóak lesznek.

A kutatás során nyert eredmények alkalmazhatóságát más, az elektronikai technológiában alkalmazott lézerek és polimerek esetén is meg kell vizsgálni. Költséghatékony előállíthatósága miatt elterjedt hajlékony hordozónak számít a PET (polietilén-tereftalát) és PEN (Poliészter naftalát) hordozó. Alacsonyabb olvadáspontja miatt azonban fokozottabb odafigyelést igényel, míg abszorpciója alapján nem csak UV lézerekkel, hanem látható vagy infravörös tartományú lézerekkel is megmunkálható.

További kutatási terület lehet az alkatrészek „x”-„y” méretein kívül a „z” méreteit is tartalmazó CAD program kifejlesztése, hogy a térbeli kiterjedését figyelembe véve lehessen három dimenzióban elhelyezni az alkatrészeket az optimális alapterület / térfogat arány eléréséhez.

## A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

### Lektorált publikációk:

- L1. **Berényi R.:** Simulating the Laser Micromachining of a 3D flexible Structure, MICROSYSTEM TECHNOLOGIES 3: pp. 1855-1860.(2009), DOI: 10.1007/s00542-009-0914-2. IF:1.229.
- L2. **Berényi R.,** Illyefalvi-Vitéz Zs.: 3D Flexible Package Formation using Laser Micromachining, PERIODICA POLYTECHNICA-ELECTRICAL ENGINEERING 52:(1) pp. 39-44 (2008),
- L3. **Berényi R.:** Prototyping of a reliable 3D flexible IC cube package by laser micromachining, MICROELECTRONICS AND RELIABILITY 49: pp. 800-805. (2009), doi:10.1016/j.microrel.2009.03.015, IF:1,29.
- L4. **Berényi R.:** Prototyping of a Reliable 3D Folded Package by Laser Micromachining, MICRO AND NANOSYSTEMS 1:(2) pp. 133-138. (2009), 1876-4029/09
- L5. **Berényi R.:** Mechanical Study of a Micro-Machined Flexible Substrate, JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS 39: pp. 89-100. (2009)
- L6. **Berényi R.:** Mechanical Scope of a Laser Micro-Machined Flexible Substrate. ELECTROSCOPE 2009: pp. 1-6. (2009)

### Konferencia kiadványban megjelent cikkek:

- R1. **Berényi R.:** Simulation of Laser Micro-Machining: Electronic Devices and Systems Conference. Brno, Csehország, 2009.09.02-2009.09.03. Brno: (IEEE), pp. 42-51.
- R2. **Berényi R.:** Mechanical Study of a Micro-Machined Flexible Substrate, Electronic Devices and Systems Conference. Brno, Csehország, 2009.09.02-2009.09.03. Brno: (IEEE), pp. 239-247.
- R3. **Berényi R.:** Mechanical Simulation of a Flexible Package, 31st International Spring Seminar on Electronics Technology, International Spring Seminar on Electronics Technology 2008. , Magyarország-2008.05.11. Budapest. (IEEE) pp. 664-669.
- R4. **Berényi R.,** Gábor Juhász, Zsolt Illyefalvi-Vitéz: Laser Manufacturing of Mechanical Structures in Flexible Substrates for Lifetime Increasing, Electronics System Integration Technology Conference, 2006, Dresden, Germany, 05-07, Szept. 2006, (IEEE), pp. 1-7
- R5. **Berényi R.,** Illyefalvi-Vitéz Zs.: Laser manufacturing of mechanical structures in Flexible substrates. Polytronic, 2005, Wroclaw, Poland, 23-26, Octobre, 2005., (IEEE) pp. 204-209
- R6. Balogh B., Gordon P., **Berényi R.,** Illyefalvi-Vitéz Zs.: Effect of Patterned Copper Layer on Selective Polymer Removal by 355 nm Laser. Polytronic 2004, Portland, Oregon, USA 12-15 September 2004. pp.:237-241
- R7. Gordon P., **Berényi R.,** Balogh B.: Controlled Laser Ablation of Polyimide Substrates. 36TH IMAPS 2003, Boston, Massachusetts, USA November 16-20,2003 pp.725-730.
- R8. Gordon P., **Berényi R.:** Laser Processing of Flexible Substrates. IMAPS, Denver, USA, 3-6 September 4-6, 2002, pp.494-499.
- R9. **Berényi R.,** Balogh B., Gordon P., Illyefalvi-Vitéz Zs.: Investigation of a laser assisted 3D bending technology for high density flexible circuits. IMAPS, 2005, Brugge, Belgium, 12-15, June, 2005., pp. 278-282
- R10. Balogh B., Gordon P., **Berényi R.,** Zsolt Illyefalvi-Vitez: Investigation of laser-polymer interaction for controllable window opening. 27th European Microelectronics and Packaging Symposium, 2004, Prague, Czech Republic, June 16-18, 2004, (IEEE) pp.477-482.

## További tudományos közlemények

### Lektorált publikációk:

L7. **Berényi R.:** Fémzési technológia és lézeres furatkészítés furatfémezett flexibilis hordozók előállítására. **HÍRADÁSTECHNIKA 59:(1) pp. 47-50.** (2004)

### Konferencia kiadványban megjelent cikkek:

- R11. Medgyes B, **Berényi R**, Jakab L, Harsanyi G: Real-time monitoring of electrochemical migration during environmental tests. 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology. Brno, Csehország, 2009.05.13-2009.05.17. (IEEE). pp.: 1-6.
- R12. **Berényi R.**, Sántha H., Balogh B., Harsanyi G. :Utilization of laser technologies in the preparation of the physical structure of a miniature electrochemical cell used for biosensor researches. Polytronic 2004, Portland, Oregon, USA, 12-15 September 2004. pp.: 257-261
- R13. Illyefalvi-Vitez Zs., **Berényi R**, Gordon P., Pinkola J., Ruzinko R.: Laser Processing of Polymer Layers of Laminated and Flexible Substrates. 53rd Electronic Components and Technology Conference, Sheraton New Orleans, Louisiana, USA May 27-30, 2003. (IEEE) pp.:142-147.
- R14. **Berényi R.:** Laser Processing of Solder Resist Layers on Laminated Substrates. 26th International Spring Seminar on Electronics Technology, Stará Lesná, Slovak Republic, May 8-11, 2003. (IEEE) pp.:313-316.
- R15. Gordon P, **Berényi R.**, Nyitrai Zs. :Laser Processing of Flexible Substrates. 23-26 June, 2002, Polytronic 2002 Conference, Zalaegerszeg pp.183-187
- R16. Gordon P., **Berényi R.:** Laser Processing of Flexible Substrates, 25th International Spring Seminar on Electronics Technology, Prague, Czech Republic, 11-14 May, 2002, (IEEE) pp.:246-249.
- R17. Illyefalvi-Vitéz Zs., **Berényi R.**, Gordon P., Pinkola J., Ruzinkó M. and Jan Vanfleteren: Laser Via Generation into Flexible Substrates.: First International IEEE Conference On Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics. 2001 Conference, Potsdam, Germany, October 21-24, 2001, pp.230-235.
- R18. Illyefalvi-Vitéz Zs., Gordon P., Pinkola J., **Berényi R.**, Balogh B.: Application of Laser Processing for Fabrication of High Density Interconnections. International Symposium for Design and Technology of Electronic Packages, 2004, Bucarest, Romania, 23-26 September, (IEEE) 2004. pp.:9-13:
- R19. **Berényi R.**, Deak J.: Low cost manufacturing of double-sided polyimide flexible substrates using unique plating technology and laser ablation. 27th European Microelectronics and Packaging Symposium, 2004, Prague, Czech Republic, June 16-18,2004, (IEEE) pp.:99-104.
- R20. **Berényi R.**, Nyitrai Zs.: Large Window Opening into Flexible Substrates. 8th International Symposium for Design and Technology of Electronic Packages, Cluj-Napoca, Romania, 19-22 September, 2002 , pp. 71-74.
- R21. **Berényi R.**, Gordon P., Illyefalvi-Vitéz Zs.: Laser Via Generation Techniques for Printed Wiring Boards. The 7TH International Symposium for Design and Technology of Electronic Modules. 2001 Conference, Bucharest, Romania ,September 20,2001 pp.1-6.