



Modellező eszközök egyes elektronikai technológiai alkalmazásokban

Doktori értekezés téziszfüzete

Sinkovics Bálint

Témavezető: Dr. Harsányi Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikai Technológia Tanszék

2010.

A kutatások előzménye

Az elektronikai technológia gyártási folyamataiban fizikai-kémiai jelenségek igen széles skálája jelenik meg. Ezen jelenségek számítógépes modellezéssel történő vizsgálata, illetve modellezőeszközök készítése több területen is hasznos a gyakorlat számára. Egyrészt léteznek olyan gyártási folyamatok, amelyek esetében az alkalmazott technológia jellegéből adódóan a gyártási paraméterek nem tervezhetőek egzakt módon, azaz nem tudjuk megmondani, hogy egy adott végtermék előállításához a gyártás paramétereit pontosan hogyan kell beállítani. Ilyen esetben a paraméterek beállítása, szabályozása próbadarabok iteratív legyártásával, heurisztikusan történik. Nagytömegű gyártás esetén az ilyen – sok esetben meglehetősen hosszadalmas – beállítási folyamat kiesést okoz, de van olyan eset is, amikor az alapanyagok és az alkalmazott technológia magas költsége miatt szükséges minimálisra csökkenteni, illetve teljesen kiküszöbölni a próbálkozással történő paraméter beállítási iterációkat.

A gyártási folyamatok modellezéssel történő vizsgálata azokban az esetekben is nagyon hasznos lehet, amikor a folyamat egyes részeinek vizsgálata, ellenőrzése valamilyen – legtöbbször fizikai, de sok esetben gazdaságossági – okból nem lehetséges, és emiatt a végtermék esetleges hibája nem feleltethető meg a gyártási folyamat valamely elemének. Azaz, léteznek olyan esetek, amikor a végellenőrzésen kiesett termék hibája pontosan ismert, de nem tudjuk megmondani, hogy ez a hiba a gyártás melyik lépésénél keletkezett, ebből kifolyólag intézkedéseket sem tudunk tenni a folyamat javítása, a további hibás végtermékek elkerülése érdekében.

Az elektronikai technológia területén rendkívül sok olyan feladat található, amely megfelel az előzőekben ismertetett feltételeknek. Kutatómunkám során három olyan problémát vizsgáltam meg részletesen, melyek esetén a folyamat modellezésével hasznos eredményeket, illetve akár modellezőeszközöket lehet adni a gyakorlat számára.

1. lézeres abláció

Az elektronikai gyártásban a lézeres megmunkálás napjainkban már hagyományos technológiának számít, a gyártók több évtizede, széles körben használják e technológiát többek között kisméretű viák készítéséhez, precíziós vágásra, kódok gravírozására. A méretek csökkenésével azonban újszerű problémák merülnek fel. Manapság a kialakítandó struktúrák méretei már az alkalmazott lézerek fókusztávolságával egy nagyságrendben vannak, ami a megmunkálás során eddig nem tapasztalt hibákat okozhat.

Ennek egyik fő oka, hogy a megmunkálandó munkadarab inhomogén, azaz több mintázattal rendelkező anyagrétegből épül fel.

A napjainkban használt lézeres megmunkáló berendezések a gyártási paraméterek beállításakor nem veszik figyelembe a fent említett szempontokat, emiatt egyrészt próbálgatásra lehet szükség a helyes beállításához, másrészt ez gátja is az adott nyalábátmérővel kialakítható finomabb felbontás elérésének. Szükségét láttam ezért egy olyan eszköz létrehozásának, amellyel a lézeres megmunkálási folyamat modellezhető, ezáltal lehetőséget adhat a helyes megmunkálási paraméterek megtervezésére.

Az alkalmazott ablációs modell a folyamatot termikus szempontból vizsgálja, olyan eszközre volt tehát szükség, amellyel a hőátviteli jelenségek modellezhetők. A szakirodalomban, illetve a modellező programok között azonban nem volt fellelhető olyan megoldás, amellyel kezelhető lenne a feladat egyik kulcsfontosságú eleme: az abláció, vagyis a modellezendő struktúra geometriájának – megadott – változása a szimuláció során. A feladat megoldásához ezért egy olyan modellező eszközt volt szükséges létrehozni, amely ezt a problémát kezelni tudja, így alapját képezheti egy, a megmunkálási paraméterek meghatározására szolgáló programnak.

2. Nagybonyolultságú szerelőlemezen helyet foglaló alkatrészek forrasztott kötéseinek mechanikai vizsgálata

A mechanikai vizsgálatok az elektronikai technológiában megfigyelhető folyamatos miniaturizáció és a növekvő megbízhatósági követelmények miatt egyre fontosabb szerepet kapnak. Az „area array” típusú, például BGA (Ball Grid Array), micro-BGA (finom raszterosztású BGA), és különösen a WL-CSP (Wafer Level Chip Scale Package) tokok forrasztott kötéseinek vizsgálata kiemelt helyen szerepel, ugyanis e típusoknál a forrasztott kötések különösen nagy mechanikai igénybevételnek lehetnek kitéve. Ennek oka egyrészt az, hogy az „area array” tokok helyfoglalása a panelen nagy – ráadásul a helyfoglalás a kivezetők számának növekedésével összefüggésben egyre növekszik. Másrészt, az „area array” tokok kivezetőinek (bump-ok) mérete és raszterosztása – szintén a kivezetők számának emelkedése miatt – folyamatosan csökken. A panel és a tok között ébredő mechanikai feszültséget, vagyis a szerelőlemez és az alkatrész deformációinak különbségét azonban a kivezetők veszik fel.

A forrasztott kötések mechanikai vizsgálatának, modellezésének több évtizedes múltja van, a terület irodalmi háttere kiterjedt, azonban e vizsgálatok és kutatások a kötések kis-

és nagyciklusú fáradását vizsgálják első sorban, vagyis azokat a jelenségeket, amelyek az elektronikai termékek normál használata során a kötések fáradásos törését okozhatják. A szerelőlemezeket azonban a gyártási folyamat során – például túágyas tesztelés közben – is érhetik olyan mechanikai behatások, amelyek problémát okozhatnak, figyelembe véve a kötésekben az újraömllesztéses forrasztást követő lehűtés során kialakuló „beépített” mechanikai feszültséget is. A kötésekben létrejövő nagy mechanikai feszültségek okozhatják a kötés azonnali, vagy részleges törését, utóbbi esetben a hiba okának felderítése meglehetősen nehéz.

Tekintetbe véve a gyártósorokon történő mérések megvalósításának nehézségeit, indokolt volt egy olyan eszköz létrehozása, melynek segítségével adott szerelőlemez esetén meghatározható az a mechanikai behatás, ami a forrasztott kötésekre már káros lehet.

3. Egykristályos szilícium protonnyalábos mikromegmunkálása

Az egykristályos szilícium protonnyalábos mikromegmunkálása háromdimenziós alakzatok kialakítását teszi lehetővé, így a közeljövőben a MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) eszközök prototípezálásába területén fontos szerepet kaphat. A technológia lényege, hogy az egykristályos szilícium villamos vezetőképessége nagyenergiájú protonnal történő besugárzás hatására drasztikusan lecsökken, így a besugárzás után szelektív elektrokémiai marásra van lehetőség. A technológia gyakorlati megvalósításában fókuszált ionnyalábot alkalmaznak, tehát direkt írásos eljárásról beszélhetünk, ezen kívül további előnyökkel is számolni lehet: mivel a besugárzott protonok pályája az egyenestől csak kevéssé tér el, nagy oldalarányú struktúrák kialakítására van lehetőség, a besugározatlan területeket nem éri károsodás, nincs szükség maszk alkalmazására, a technológia a MEMS gyártási sorba beilleszthető.

A protonnyalábbal besugárzott szilíciumszelet elektrokémiai marása során azonban nemkivánt jelenségek lépnek fel, melyek közül a legnagyobb problémát a besugárzott terület közelében észlelhető marási sebesség helyi megnövekedése, és a zárt alakzatok belsejében a marási sebesség csökkenése okozza. Az első jelenség fellépése miatt az elektrokémiai maratás során a besugárzott területek mellett és alatt nem kívánatos árkok jelennek meg. A második hibajelenség a kisméretű zárt alakzatok (például gyűrű) kialakítását korlátozza.

Az említett hibajelenségek a technológiából nem küszöbölhetők ki, azonban a besugárzás paramétereinek és a besugárzott terület geometriájának helyes megválasztásával káros

befolyásuk csökkenthető. A kialakulásuk mögött rejlő fizikai háttér azonban nem ismert olyan mértékben, amennyire az a tervezéshez szükséges lenne, indokoltnak láttam ezért a jelenségek fizikai háttérének feltárását, majd ez alapján a folyamat fenomenologikus modelljének megalkotását, amely segítséget adhat a kialakítandó strukturák tervezéséhez.

Célkitűzések

Kutatómunkám elsődleges célja, hogy az elektronikai technológia területén előforduló egyes gyártási folyamatok háttérének megértését, és ezen keresztül a folyamat javítását, optimalizálását segítsem a folyamatok számítógépes modelljének létrehozásán keresztül. Az általam vizsgált folyamatok tipikusan olyanok, ahol a modell megalkotása új tudományos eredményt is jelent egyben.

Célkitűzés 1.

A lézeres megmunkálás területén céлом volt egy olyan modellező eszköz megalkotása, amely lehetőséget ad a megmunkálás paramétereinek előzetes megtervezésére, optimalizálására. A modellező eszköz az anyag ablációját termikus megközelítésben veszi figyelembe, ezáltal lehetőséget teremt az egymást követő lövések esetén a hőakkumuláció figyelembevételére is. A lézerefény hővé alakulását – a szimuláció közben is változtatható – faktorok segítségével terveztem figyelembe venni, melyek segítségével kezelhető többek között a plazma árnyékoló hatása, és a fény visszaverődése az anyag felületéről. Mivel az előzetes mérések szerint az alkalmazott 355nm hullámhosszúságú UV Nd:YAG lézer nyalábjának intenzitása nem egyenletes, céлом volt a valós intenzitáseloszlás figyelembevétele a modellező eszközben. A termikus vizsgálatoknál alapkövetelmény volt a változó sűrűségű rács alkalmazásának lehetősége, mert a lézerrel megmunkált terület közelében sok nagyságrenddel nagyobb termikus gradiensek lépnek fel, mint a lövés helyétől nagyobb távolságban. Mivel a vizsgált struktúra (a megmunkálás alatt álló munkadarab) termikus szempontból nem homogén, a modellező eszközt alkalmassá kellett tennem ezen inhomogenitások kezelésére is. Az abláció figyelembevételéhez kulcsfontosságú szempont volt, hogy a geometria módosítható legyen a szimuláció közben is.

Célkitűzés 2.

A nagybonyolultságú szerelőlemezekon helyet foglaló "area array" típusú tokok forrasztott kötéseinek vizsgálata több különleges követelményt is támaszt. Elsőként kiemelendő, hogy a szerelőlemez mintázott réz rétegeinek geometriája olyan bonyolultságú, ami a gyakorlati esetek többségében a valós geometria alapján történő modellezést kizárja. Céлом volt ezért egy olyan módszer megalkotása, amelynek segítségével a réz rétegek geometriája jelentősen

egyszerűsíthető, lehetővé téve a nyomtatott huzalozású lemez mechanikai viselkedésének vizsgálatát. További problémát okoz a modell felállításában, hogy a vizsgálni kívánt alkatrész, és azon belül a forrasztott kötés a szerelőlemez méreteinél sok nagyságrenddel kisebb. Céлом volt ezért egy olyan megoldás létrehozása, amely lehetővé teszi a kötésekben fellépő mechanikai feszültségek pontos számítását a nagyméretű szerelőlemezt érő deformációk függvényében.

Célkitűzés 3.

Mivel a szilícium protonnyalábos mikromegmunkálását követő elektrokémiai marás során – a fentiekben említett – hibajelenségek lépnek fel, céлом volt a hibajelenségek okainak felderítése, és erre építve olyan modell létrehozása, melynek segítségével az elektrokémiai marás folyamata vizsgálható. A modellben – ahogy a valóságban is – a legfontosabb szerepet szilíciumban az elektrokémiai marás során kialakuló elektromos áram eloszlása játssza, melynek pontos meghatározása szükséges a számítások elvégzéséhez. Az áram számításához a szilíciumban a protonbesugárzás hatására létrejövő fajlagos ellenállás-növekmény eloszlásának ismerete szükséges. Az áram ismeretében a marási front mozgási sebessége számítható, és így a marás során kialakuló geometria meghatározható. Céllal tűztem ki tehát egy olyan modellezőeszköz megalkotását, amely képes számítani a besugárzó protonnyaláb hatását (fajlagos ellenállás növekedése) a szilícium tömbben, majd ez alapján le tudja írni az elektrokémiai marás folyamatát.

Tudományos eredmények

1. tézis: Modellező eszközt hoztam létre, melynek segítségével polimerek lézeres megmunkálása szimulálható. A modellben az abláció jelensége termikus megközelítésben szerepel, ezáltal az eszköz alkalmas a megmunkált anyagban akkumulálódott hő figyelembevételére. Az ablációban részt vevő járulékos jelenségek hatása szabályozható faktorok segítségével kerül számításra, továbbá inhomogén termikus tulajdonsággal rendelkező struktúrák is vizsgálhatók.

Kapcsolódó publikációk: [L1], [L2], [L5], [R1], [R2], [R3], [R4]

Az eszköz a lézerfény anyagba való becsatolódását – az energia hővé alakulását, a plazma árnyékoló hatását és a felületről történő reflexiót – a hatékony működés érdekében változtatható faktorok segítségével veszi figyelembe, továbbá lehetőséget biztosít a lézer valós nyalábprofiljának figyelembevételére. A lövések között zajló hőterjedési jelenségek

modellezését a (Beuken-féle) termikus csomópontok elvére alapoztam. Bevezettem egy speciális leíró struktúrát, amely kezeli a vizsgált tartomány termikus csomópontjai közötti kapcsolatokat, lehetővé teszi a változó rácssűrűség használatát és a vizsgált geometria változtatását a szimulációk futtatása közben is. A leíró struktúra alapján a termikus szimulációhoz szükséges egyenletrendszer az általam megadott képlet alapján generálható. A módszert adaptív rácshinómítási rutinnal egészítettem ki, amely az elnyelt energia mennyisége alapján határozza meg a geometria egyes részein a rács sűrűségét. Az eszközt Matlab környezetben valósítottam meg, ahol a termikus szimulációk futtatásához a beépített Runge-Kutta megoldó függvényeket használtam. Az eszköz eredményeit 355 nm hullámhosszú, impulzus üzemmódú UV Nd:YAG lézerrel megmunkált Kapton® HN poliimid mintákon végzett AFM és keresztcsiszolati mérésekkel vettem össze. A szimulációkban a lézerberendezés valós nyalábprofiljával számoltam, melyet tülyuk és fotodióda segítségével, a defókuszált nyalábon mértem meg. Megállapítottam, hogy ismételt lövések esetén a furat mélysége 3 μm -nél kisebb hibával számítható, ugyanakkor az adaptív rácshinómításnak köszönhetően adott pontossághoz tartozó szükséges cellaszám nagyságrendekkel redukálható.

Az eredmények hasznosulása, a kutatás további irányai

A fentiekben ismertetett módszer – a célkitűzésnek megfelelően – alapját képezheti egy olyan modellező eszköznek, amellyel a polimer alapú áramköri hordozók lézeres megmunkálása szimulálható. A szimuláció segítségével az egyes gyártmányok megmunkálásához szükséges megmunkálási paraméterek – sok esetben rendkívül időigényes – heurisztikus keresése kiváltható, és ez által a lézerberendezés kihasználtsága javítható. A szimuláció lehetőséget adhat a paraméterek optimalizálására is, ezen keresztül pedig a gyártmány minőségének javítására.

A kutatás folytatásában a modellező eszköz gépi kapacitásigényének csökkentését tartom a legfontosabb iránynak, a minél jobb gyakorlati használhatóság érdekében.

2. téziscsoport: Nagybonyolultságú szerelőlemezen helyet foglaló "area array" típusú alkatrészek forrasztott kötéseinek mechanikai vizsgálatára alkalmas modellező eljárást dolgoztam ki, melynek segítségével a kötésekben fellépő mechanikai feszültség vizsgálható a szerelőlemezt érő behatás függvényében.

Kapcsolódó publikációk: [L3], [K1], [K2], [M1]

2.1. tézis: Eljárást dolgoztam ki, amellyel többrétegű nyomtatott huzalozású lemezek végeelem-módszeren alapuló mechanikai modellje létrehozható, illetve jelentősen egyszerűsíthető.

Felismertem, és szerelőlemezeken végzett deformációs mérésekkel igazoltam, hogy a nyomtatott huzalozású lemezekben lévő mintázott rézrétegek hatása a lemezt érő nagymértékű deformációinak vizsgálatára szolgáló mechanikai modellekben nem hanyagolható el. A rézrétegek hatásának figyelembevételéhez eljárást dolgoztam ki, amellyel a vizsgált struktúra végeelem rácsának létrehozása a rétegek nagy geometriai bonyolultsága esetén is lehetővé válik. A módszer működése a szerelőlemezek RS-274x formátumú szabványos leírása alapján létrehozott képek feldolgozásán alapul. Az egyszerűsített geometria generálására szolgáló eszközt Matlab környezetben megvalósítottam. Az eljárás helytállóságát Comsol Multiphysics programban megvalósított modell szimulációs eredményeinek többrétegű szerelőlemezen végzett deformációs kísérleteinek eredményeivel történő összevetésével igazoltam. Igazoltam, hogy a módszer lehetővé teszi a többrétegű kompozit lemezek nagymértékű deformációjának 3%-nál kisebb hibával történő számítását a rézrétegek geometriájának nagymértékű egyszerűsítése mellett.

2.2. tézis: Eljárást dolgoztam ki, melynek segítségével nagy kivezetőszámmal rendelkező "area array" típusú alkatrészek forrasztott kötéseiben kialakuló mechanikai feszültség számítható a szerelőlemezt érő mechanikai behatások függvényében.

Módszert dolgoztam ki, amely az alkatrészt is tartalmazó szerelőlemez végeelem mechanikai modelljében lehetőséget ad a – szerelőlemez méreteinél több nagyságrenddel kisebb méretekkel rendelkező – forrasztott kötésekben ébredő mechanikai feszültség nagypontosságú számítására. A megoldás lényege, hogy a forrasztott kötések egy részét egybefüggő, megfelelően megválasztott mechanikai paraméterekkel rendelkező tömbökkel helyettesítem, így a fennmaradó kötésekben a mechanikai feszültség nagy pontossággal számítható. A forrasztanyagok mechanikai viselkedését – így a helyettesítő tömbökét is – a Ramgood-Osgood egyenlet segítségével írom le. A módszer működőképességét egy 240x175 mm laterális méretű, négyrétegű, szerelt nyomtatott huzalozású lemez, és az azon helyet foglaló 488 PBGA típusú alkatrészek példáján, Comsol Multiphysics program segítségével demonstráltam.

Az eredmények hasznosulása, a kutatás további irányai

A fentiekben ismertetett módszert a hatvani Robert Bosch Elektronika kft.-vel való együttműködés keretében fejlesztettem ki. Az eljárás segítségével megállapíthatják, hogy az

automata gyártósorban elhelyezkedő gyártóberendezések (pl. tűággal történő funkcionális teszt) okozhatnak-e olyan mechanikai behatást a szerelőlemezen, amely a forrasztott kötések törését válthatja ki.

A téziscsoport tudományos hasznosulása, hogy a módszer általánosítható, segítségével vizsgálható többek között a forrasztott kötések mechanikai fáradása is a szerelőlemezt érő behatások függvényében.

A kutatás következő fontos, elérendő mérföldkövének az eljárás CAD (Computer Aided Design) rendszerbe illeszthetőségének lehetővé tételét tartom, figyelembe véve, hogy a szakirodalom alapján nagy igény mutatkozik az ilyen típusú eszközökre.

3. téziscsoport: Egykristályos szilícium nagyenergiájú protonnyalábbal történő mikromegmunkálásának leírására alkalmas modellt alkottam, melynek segítségével magyarázatot adtam az elektrokémiai marás során fellépő megmunkálási anomáliára.

Kapcsolódó publikációk: [L4]

3.1. tézis: Eljárást dolgoztam ki, amellyel az egykristályos szilíciumban a nagyenergiájú protonnyalábos besugárzás hatására kialakuló fajlagos ellenállás-növekedés eloszlása számítható.

Monte-Carlo típusú modellt hoztam létre, melynek segítségével az egykristályos szilíciumba implantált MeV energiájú, fókuszált protonnyaláb által létrehozott Frenkel-hibapárok, és a besugárzott minta fajlagos ellenállásának eloszlása számítható. A modell működésének lényege, hogy a vizsgált geometriát derékszögű ráccsal felosztja, a besugárzott protonok pályáját a rácselemek közötti átlépések segítségével írja le, és számítja a rácselemeket érő iondózist. A szimulációk futtatásához szükséges gépi kapacitás csökkentése érdekében a modell a protonok trajektóriájának meghatározásához és a fajlagos ellenállásnövekmény számításához gyakorlati eredményeket használ fel. A modellt alkalmassá tettem a valós nyalábprofil és tetszőleges besugárzási geometria figyelembevételére is. A módszer helyességét a Matlab környezetben megvalósított modell kimenetének protonnyalábbal besugárzott szilícium minták elektrokémiai marásának mérési eredményeivel való összevetésével igazoltam.

3.2. tézis: Nagyenergiájú protonnyalábbal besugárzott szilícium egykristály elektrokémiai marásának leírására alkalmas modellt alkottam.

Végeselem módszeren alapuló modellt készítettem, amellyel nagyenergiájú protonnyalábbal besugárzott szilícium egykristály elektrokémiai marásának folyamata leírható, és a marás

során kialakuló geometria meghatározható. A modell elsődleges bemenete a besugárzott minta geometriája, és annak fajlagos ellenállás-eloszlása. A számítás alapját a mintában kialakuló, illetve a szilícium-elektrolit határfelületen átfolyó áram iteratíván történő meghatározása képezi. A határfelületen átfolyó áram alapján kerül kiszámításra a határfelület mozgási sebessége, amely alapján a következő időpillanatban érvényes geometria megadható. A módszer helyességének igazolásához a modellt Comsol Multiphysics programban valósítottam meg, és kimenetét különböző szögben megnyitott gyűrű alakzatok besugárzásával és kimaratóásával előállított mintákon, konfokális mikroszkóp segítségével végzett profilmérések eredményeivel vetettem össze. Megállapítottam, hogy módszeremmel a marási folyamat leírható, továbbá a modell segítségével magyarázatot adtam a zárt alakzatok belsejében tapasztalható marási sebesség csökkenésre. Az elért eredmény lehetőséget ad olyan tervezőeszköz készítésére, melynek segítségével a megmunkálási anomália káros hatása csökkenthető.

Az eredmények hasznosulása, a kutatás további irányai

A fentiekben ismertetett módszer segítségével elért eredmények a KFKI-MFA és az ATOMKI együttműködésében született kutatásba épültek be. Az eddig elért eredmények legfontosabb érdeme, hogy nagyban hozzájárultak a szilícium protonnyalábos megmunkálása során tapasztalt anomáliák megértéséhez. A fentiekben ismertetett módszer – a célkitűzésnek megfelelően – alapját képezheti egy olyan modellező eszköznek, amellyel szilícium protonnyalábos megmunkálása szimulálható. A szimuláció segítségével a megmunkáláshoz szükséges megmunkálási paraméterek heurisztikus keresése kiváltható. A szimuláció lehetőséget adhat továbbá a megmunkálási anomáliák hatásának csökkentésére, elkerülésére.

A kutatás folytatásaként az elektrokémiai marás modellezésében a marási front mozgásának olyan módszerrel történő leírását tűztem ki célul, amellyel a teljes marási folyamat szimulációja megvalósítható.

Tudományos közlemények

Tézispontokhoz kapcsolódó publikációk

Lektorált, idegen nyelvű, külföldön megjelent folyóiratcikk:

- [L1] **Bálint Sinkovics**, Péter Gordon, Gábor Harsányi: Computer modelling of the laser ablation of polymers, Applied Thermal Engineering, Vol. 30, pp. 2492-2498, 2010
- [L2] Péter Gordon, Bálint Balogh, **Bálint Sinkovics**: Thermal simulation of UV laser ablation of polyimide Microelectronics and Reliability, Vol. 47: pp. 347-353, 2007

- [L3] **Bálint Sinkovics**, Olivér Krammer: Board level investigation of BGA solder joint deformation strength, *Microelectronics and Reliability*, Vol. 49, pp. 573-578, 2009
- [L4] Zoltán Fekete, **Bálint Sinkovics**, István Rajta, Gabriella Gál, Péter Fürjes: Characterisation of end-of-range geometric effect in complex 3D silicon micro-components formed by proton beam writing, *Journal of micromechanics and microengineering*, Vol. 20, pp. 064015, 2010

Lektorált, idegen nyelvű, Magyarországon megjelent folyóiratcikk:

- [L5] Gordon Péter, Balogh Bálint, **Sinkovics Bálint**, Illyefalvi-Vitéz Zsolt: Analysis of 355 nm Nd:YAG Laser Interaction with Patterned Flexible Circuit Substrates, *Periodica Polytechnica-Electrical Engineering*, Vol. 52, pp. 31-37, 2008

Referált, idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás:

- [R1] Balogh Bálint, Gordon Péter, **Sinkovics Bálint**: Description of 355 nm Laser Ablation of Polyimide as a Thermal Process, 1st Electronics Systemintegration Technology Conference, Drezda, Németország, IEEE, pp. 360-364, 2006
- [R2] Gordon Péter, Balogh Bálint, **Sinkovics Bálint**: Investigation and Simulation Methods of Polymer Ablation by UV Nd:YAG laser, 4th European Microelectronics and Packaging Symposium, Terme Catez, Szlovénia, pp. 375-380, 2006
- [R3] Balogh Bálint, Gordon Péter, **Sinkovics Bálint**: Simulation and Indirect Measurement of Temperature Change in Polyimide Induced by Laser Ablation at 355 nm, 28th IEEE International Spring Seminar on Electronics Technology, Wiener Neustadt, Ausztria, pp. 412-416, 2005
- [R4] Gordon Péter, Balogh Bálint, **Sinkovics Bálint**: Thermal Simulation of UV Laser Ablation of Polyimide, 5th International Conference on Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics, Wroclaw, Lengyelország, pp. 128-132, 2005

Idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás:

- [K1] Krammer Olivér, **Sinkovics Bálint**, Illyefalvi-Vitéz Zsolt, Jakab László, Szabó András: Board level investigation of BGA solder joint deformation strength, International microelectronics and packaging conference, Pułtusk, Lengyelország, Paper 34, 2008
- [K2] **Sinkovics Bálint**, Krammer Olivér, Jakab László: Experimental and numerical analysis of mechanical behavior of multilayer PWB assemblies, International Symposium for Design and Technology of Electronic Package (SIITME 2008), Brasov, Románia, Brasov, IEEE, pp. 345-349, 2008

Nem lektorált, magyar nyelvű, Magyarországon megjelent folyóiratcikk:

- [M1] **Sinkovics Bálint**, Szabó András: Mechanikai vizsgálatok szerepe az elektronikai Technológiában, *Elektronet*, 17:(6) pp. 54-56, 2008 (ISSN: 1219-705X)

Egyéb publikációk

Lektorált, idegen nyelvű, külföldön megjelent folyóiratcikk:

- [L6] Olivér Krammer, **Bálint Sinkovics**: Improved method for determining the shear strength of chip component solder joints Microelectronics and Reliability, Vol. 50, pp. 235-241, 2010

Lektorált, idegen nyelvű, Magyarországon megjelent folyóiratcikk:

- [L7] **Sinkovics Bálint**, Harsányi Gábor: Modelling thermal behavior of surface mounted components during reflow soldering, Periodica Polytechnica-Electrical Engineering Vol. 52, pp. 77-83, 2008

Referált, idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás:

- [R5] Olivér Krammer, **Bálint Sinkovics**, Balázs Illés: Studying the Dynamic Behaviour of Chip Components during Reflow Soldering, 30th Int. Spring Seminar on Electronics Technology, Cluj-Napoca, Románia, IEEE, pp. 18-23, 2007
- [R6] Olivér Krammer, **Bálint Sinkovics**, Balázs Illés: Predicting Component Self-Alignment in Lead-Free Reflow Soldering Technology by Virtue of Force Model, 1st Electronics Systemintegration Technology Conference, Drezda, Németország, IEEE, pp. 617-623, 2006
- [R7] Hunor Sántha, Gábor Harsányi, **Bálint Sinkovics**, András Takács: Common platform for bipotentiostatic biocatalytic sensors and DNA sensors with electronically addressed immobilization, 27th International Spring Seminar on Electronics Technology, Sofia, Bulgária, IEEE, pp. 136-140, 2004
- [R8] Hunor Sántha, Gábor Harsányi, **Bálint Sinkovics**, Dóra Makai: A Microfluidic Electrochemical Cell Based on Microsystem Packaging Technologies Applicable for Biosensor Development, 55th IEEE Electronic Components and Technology Conference, Lake Buena Vista, Amerikai Egyesült Államok, pp. 588-592, 2005

Idegen nyelvű, nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent előadás:

- [K3] Krammer Olivér, **Sinkovics Bálint**: Investigation of the influence of surface mounted chip component misalignment on solder joint reliability, International microelectronics and packaging conference (IMAPS2007), Rzeszow, Lengyelország, pp. 47-54, 2007