



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Villamosmérnök és Informatikai kar

A mikroelektronika egyes termikus problémáinak kezelése

Doktori (Ph.D.) értekezés

Tézisfüzete

Szerző: Bognár György

Témavezető: Dr. Székely Vladimír, MTA levelező tagja

Budapest

2009.

A kutatások előzménye

A PhD. munkám során az integrált áramkörök és különböző mikroelektronikai eszközök termikus kérdéseivel foglalkoztam, a legkülönbözőbb megközelítésekben, a mérési problémáktól a tervezés során érvényesíthető termikus megfontolásokig bezárólag. Részletesen tanulmányoztam a félvezető eszközökben (integrált áramkörök, teljesítmény LED diódák, MEMS eszközök) és az elektronikai berendezésekben zajló hőátadási és hővezetési folyamatokat, a hőtérképezés különböző lehetőségeit, illetve egyes érintés- és roncsolásmentes mérési eljárásokat. Külön foglalkoztam alacsony fogyasztású (low-power) RF integrált áramkörök megvalósítási lehetőségeivel különböző technológián, különböző csíkszélesség mellett.

Integrált áramkörökben az egységnyi felületre integrált tranzisztorok száma és a működési sebesség is rohamosan növekszik. Ez a két tényező együttesen nagymértékben járul hozzá, hogy például a modern processzorok felületi disszipáció sűrűsége megközelítse egy rakétahajtómű disszipáció sűrűségét ($100\text{W}/\text{cm}^2$). Így érthető, hogy a keletkező hő a legrövidebb, legkisebb hőellenállású úton történő elszállítása, azaz az integrált áramkör hatékony hűtése nélkül az eszközeink tönkremennének. Az elektronikai berendezések termikus problémák miatti meghibásodásának aránya az összes meghibásodási fajtához viszonyítva kb. 55%. Ez a magas arány egyértelműen indokolja az elektronikai és mikroelektronikai eszközök termikus kérdéseivel történő foglalkozás fontosságát és így a disszertációm témaválasztását is.

A Moore törvénynek megfelelően másfél-, kétevente megduplázódik az egységnyi felületre integrálható tranzisztorok száma. Gordon Moore jóslata 1965-től (amikor még csak 64 tranzisztor volt integrálható egy félvezető felületén) mind a mai napig helytállónak bizonyult. A nagyobb integráltsági fok csak úgy valósítható meg, hogy közben a csíkszélesség, a tranzisztorok csatornahosszúsága folyamatosan csökken. Jelenleg 45nm-es CMOS technológiával készült processzorok 1cm^2 felületére kb. 200millió tranzisztor integrálható. Az integráltság növekedése azonban nem csak a félvezetők felületén valósul meg, hanem térben is az ún. 3D tokozásnak köszönhetően. Ez utóbbi esetben egy tokon belülre több félvezető szelet kerül, akár egymásra helyezve. Belátható, hogy ebben az esetben az egységnyi felületre jutó disszipáció jelentősen megnövekedhet. Ez további, termikus szempontból is optimalizált áramkörtervezési megoldások (elektrotermikus szimuláció, termikus szempontú elrendező algoritmusok, stb.) alkalmazását, újfajta mérési és karakterizációs eljárások kidolgozását is megköveteli.

A nagy processzorgyártó cégek körülbelül 3 évente jelennek meg a piacon egy-egy újabb processzoresaláddal. Ezek az új processzorok az akkori legmodernebb technológiával készülnek és kerülnek eladásra. Mindeközben, ha kidolgozásra kerül egy újabb félvezető technológia (kisebb csíkszélesség, nagyobb kihozatal, stb.), akkor a már gyártás alatt lévő processzorokat – architektúrális változtatás nélkül – elkezdik az új technológián gyártani. Mivel ugyanaz az áramkör egy kisebb csíkszélességű technológiával kerül megvalósításra így csökken a chip fogyasztása. Így lehetséges például, hogy ugyanolyan architektúrájú, ugyanolyan sebességű Intel Pentium 4 processzorok különböző félvezető technológián megvalósítva csökkenő disszipációt mutattak.

Természetesen az új technológiára kidolgozott új architektúrájú (párhuzamosított, több mag egy félvezetőn, hosszabb pipeline szál, stb.) processzorok maximálisan kihasználják a technológia nyújtotta lehetőségeket és disszipációjuk nagyban felülmúlhatja elődjeik disszipációját. Történik ez annak ellenére, hogy a fogyasztás csökkentése érdekében számos technológiai újdonságnak számító lépést vezetnek be a tervezés és gyártás során a processzorgyártó cégek (például hafnium alapú high-k anyagok alkalmazása a gate dielektrikumban, változó magfeszültség, SOI technológia alkalmazása, különböző standby üzemmódok kidolgozása, stb.).

Összefoglalóan tehát úgy fogalmazhatunk, hogy az egyre kisebb csíkszélességű félvezető gyártástechnológiák bevezetésével az új áramkörök felületegységre eső teljesítmény disszipációja fokozatosan növekszik. Ezen a tendencián tovább ront a 3D tokozás és a több processzormag egy félvezető felületén való elhelyezése. Ezen okok miatt kiemelkedően fontos a termikus problémák megfelelő kezelése a mikroelektronikában.

A kutatások célkitűzései

Doktori kutatásom célja egy olyan új elvű karakterizációs módszer kidolgozása, amelynek segítségével működő elektronikai egységekben, számítógép házakban, rack szekrényekben található áramköri modulok hőmérséklet-eloszlásának érintésmentes, kvalitatív meghatározására nyílik lehetőség a hősugárzás érzékelése alapján. Ennek az eljárásnak a segítségével az áramkörök legmelegebb pontjainak (ún. hot-spot) a helye lenne meghatározható. A legmelegebb pontok meghatározásával, az ott található alkatrészek újbóli tervezésével vagy az elhelyezés optimalizációjával lehetőség nyílik az eszköz hőmérsékletének, így a meghibásodás valószínűségének a csökkentésére. Továbbá ennek a módszernek a segítségével mikroelektronikai eszközök fárasztásos vizsgálatára alkalmazott magas-hőmérsékletű tesztkamrákban kialakuló hőmérséklet-eloszlás felvételére nyílik lehetőség.

További céloom volt egy olyan új mérési módszer kidolgozása, ami az integrált áramkörök tokba való rögzítési minőségének meghatározására szolgál egy újszerű hőtágulás-érzékelésen alapuló módszerrel. Az új módszer alkalmazásával lehetővé válik az integrált áramkörök felrögzítési minőségének ellenőrzése a vizsgálandó chip elektromos bekötése előtt. Az eszközök hőtágulásai közötti különbségek egyértelműen jelzik a chip tokba való felrögzítésének minőségét.

Kutató munkám további célja egy olyan új eljárás kidolgozása, aminek alkalmazásával különböző mikroméretű (mikro-megmunkálással készült, mikroméretű csatornákat tartalmazó) hűtőeszközök termikus karakterizációjára nyílik lehetőség. A mikroméretű hűtőeszközök hőátadási együtthatója a bennük áramoltatott gáz illetve folyadék sebességének függvényében változik és a mérési eredmények alapján viselkedésükre modell generálható, amely később termikus szimulációs programokban lenne felhasználható.

Vizsgálati módszerek

Kutatásaim során elsősorban olyan termikus karakterizációs eljárások kidolgozását tűztem ki célul, amelyek segítségével lehetővé válik különböző elektronikus eszközök, áramköri kártyák, mikroméretű hűtőeszközök minősítése. Kutatásaim során kidolgozott új mérési és karakterizációs eljárások alkalmazhatóságának alátámasztására kísérleti és ellenőrző méréseket végeztem különböző összeállításban, különböző mintákkal. A mérési eredmények érvényességét kézi számításokkal, elektromos és termikus szimulációk végrehajtásával ellenőriztem.

Kutatómunkám kezdetekor először meg kellett ismerkednem a termikus transzportfolyamatokkal, különös tekintettel a hőszugárzásra és a mikroelektronikai és elektronikai eszközökben jellemző hővezetésre. Részletesen tanulmányoztam az elektronikai és mikroelektronikai eszközök felépítését, gyártási és tokozási technológiájukat, megismerkedtem az elektronikai eszközökben jellemző hővezetési utakkal, azok jellemzőivel és az elektronikus eszközök különböző hűtési módszereivel.

Behatóan tanulmányoztam az érintéses és érintésmentes hőmérsékletmérés lehetőségeit valamint a mikroelektronikában alkalmazott hőmérsékletérzékelési módszereket. Kiemelten foglalkoztam a félvezető eszközök felrögzítésének tulajdonságaival, tipikus problémáival és a már elterjedt mérési és karakterizációs módszerekkel, valamint azok korlátaival. Továbbiakban vizsgáltam a különböző passzív hűtőeszközök, ezen belül is a mikroméretű hűtőeszközök tulajdonságait és a már létező minősítési eljárásokat valamint a mérési eljárások korlátait.

Munkám során több kapcsolódó szakterülettel kellett megismerkednem és az ott megszerzett tudást alkalmaznom kutatásaimban. Így nyertem mélyebb betekintést a termikus sugárzás, a geometriai optika, az interferometria és a termikus tranziens tesztelés témakörébe.

Kutató munkám során számos mérőeszköz működésével ismerkedtem meg. Kutatásaim alatt a *Zygo ZMI 510 interferometriás mérőrendszer*, *Rank Taylor Hobson Talystep rétegvastagságmérő tűs készülék* valamint a *T3Ster termikus tranziens teszter* felépítését, működését és alkalmazhatóságát tanulmányoztam. Megismertem működésük elméleti hátterét és alkalmazásuk korlátait (mérési tartomány, felbontás, stb.). Az elsajátított ismeretek felhasználásával, különböző termikus jellegű problémák megoldására új elvű mérési és karakterizációs módszereket dolgoztam ki.

A mérési eredmények elemzésére, feldolgozására és ellenőrzésére különböző matematikai és termikus szimulációs programokat is alkalmaztam. Így megismerkedtem a *Maple*¹, *FloTherm*, *SunRed* és *T3SterMaster*² programok használatával és alkalmazási lehetőségeivel. Ezen programok segítségével sikerült mérési eredményeimet értelmezni illetve verifikálnom.

¹ MapleSoft cég terméke, <http://www.maplesoft.com/Products/>

² Mentor Graphics cég termékei, <http://www.mentor.com/products/mechanical/products/flotherm>

Új tudományos eredmények

1. Tézis

Módszert dolgoztam ki működő, zárt elektronikai egységekben található áramköri modulok, illetve ún. magas-hőmérsékletű tesztkamrák hőmérséklet-eloszlásának érintésmentes, kvalitatív meghatározására. A módszer lényege, hogy az érzékelendő felületek közelébe olyan érzékelő kártyát helyezünk, ami a kialakuló hőmérséklet-eloszlást az IR sugárzás alapján érzékeli.

Az érzékelő kártya FR4 hordozón, hagyományos nyomtatott huzalozású lemez előállító technológiával készül. A felületén mátrix elrendezésben $m \times n$ darab négyzet alakú (pl. $1\text{cm} \times 1\text{cm}$) réz felületet alakítunk ki, melyekre a hőmérsékletmérésért felelős termikus tesztchipek kerülnek beültetésre. A feketére festett rézfelületek a sugárzó hőt elnyelik, aminek hatására a chip hőmérséklete is emelkedni kezd. A mátrix elrendezésben lévő chipek egyenként elektronikusan címezhetők, és a kimentti jelük hőmérséklettel arányos frekvenciája kiolvasható.

Az érzékelő kártyát 4×4 cellás kivitelben kísérletileg megvalósítottam és a vele végzett kalibrációs és valós (számítógépházban, tesztkamrában történő) méréseket szimulációs eredményekkel verifikáltam.

1.1. Megállapítottam, hogy az érzékelő kártya alkalmas zárt elektronikai egységekben a vele szemben elhelyezett felületen a fő disszipáló források (áramköri modulok, fűtőszálak, stb.) helyének meghatározására.

1.2. Kimutattam, hogy az ún. magas-hőmérsékletű tesztkamrák belsejében a fűtőszálaktól 1 cm távolságban már homogén hőmérséklet-eloszlás áll elő, így ezen kamrák különböző mikrorendszerek fárasztásos vizsgálatára alkalmasak. Inhomogenitás csak a kamra ajtajának közelében tapasztalható.

2. Tézis

Eljárást dolgoztam ki integrált áramkörök tokba való rögzítési minőségének meghatározására egy újszerű hőtágulás-érzékelésen alapuló módszerrel. Az integrált áramkörök gyártásánál súlyos gond, hogy az IC lapka tokba való beforrasztása (ragasztása) nem mindig tökéletes. A rossz rögzítés rossz hőátadást okoz, túlmelegedéshez és korai meghibásodáshoz vezet.

A különböző rögzítésű minőségű minták adott ideig történő gerjesztésének hatására a vizsgált minták hőtágulásai között különbségek lesznek. A méréseket Talystep tapintó tűs mérőrendszerrel végeztem.

A mérési eredményeket kézi számításokkal, szimulációkkal és más elvű (interferometriás) méréssel verifikáltam. A vizsgált minták felrögzítésének minőségét röntgen átvilágító berendezéssel is ellenőriztem. Továbbá megvalósíthatósági vizsgálatokat végeztem egy újszerű hőtágulás-érzékelésen alapuló interferometriás módszerrel. A módszer előnye, hogy az integrált áramkör felrögzítési minőségének ellenőrzésére a vizsgálandó chip elektromos bekötése előtt nyílna lehetőség.

2.1 Igazoltam, hogy az integrált áramkörü tokok felületén kialakuló inhomogén hőeloszlás hatására bekövetkező hőtágulás-különbségek az általam kidolgozott érintéses és érintésmentes módszerrel egyaránt meghatározhatók. Interferometriás mérésrel a félvezető felületén kialakuló hőeloszlás is feltérképezhető.

2.2 Megállapítottam, hogy különböző felrögzítési minőségű minták esetén különböző nagyságú hőtágulás detektálható. A jó (90%-os lefedettség feletti) minták és a rossz (csak az egyik oldalél mentén vagy csak a sarkán felrögzített) minták között 1 μ m hőtágulás különbség mérhető.

3. Tézis

Eljárást dolgoztam ki különböző mikroméretű (mikro-megmunkálással készült, mikroméretű csatornákat tartalmazó) hűtőeszközök termikus karakterizációjára és modellt alkottam ezen eszközök termikus viselkedésére.

Az eljárás során egy teljesítmény tranzisztort gerjesztek egységugrás jellel, és a kialakuló termikus tranzienszt *Termikus Tranziens Teszter* berendezés segítségével rögzítem. A kialakuló tranzienszt nagyban befolyásolja a disszipáló forrás és a környezet közötti hővezetési út hőellenállása. A tranzisztor tetejére rögzített mikroméretű csatornákat tartalmazó 15mm \times 15mm-es mikrohűtőbordán átáramoltatott gáz áramlási sebességének függvényében a környezet és a mikrohűtőborda közötti hőellenállás csökkenni fog. A csökkenés mértéke, illetve az adott áramlási sebesség mellett a mikrohűtőborda hőellenállása a kidolgozott eljárás segítségével mérhetővé válik.

A mérési eredményeket hőárammérő szenzor segítségével verifikáltam.

3.1 Kimutattam az „I” geometriájú (egyenes) csatornákat tartalmazó mikrohűtőborda hővezetésének változását a csatornában áramló gáz áramlási sebességének függvényében.

3.2 A mérési eredmények alapján egy másodfokú közelítő összefüggést alkottam, mely a mikrohűtőeszköz hővezetését írja le a gáz áramlási sebességének (φ) függvényében:

$$G_{th} = a \cdot \varphi^2 + b \cdot \varphi + c$$

3.3. Mérésekkel igazoltam, hogy a 45 μ m és 70 μ m mélységű „I” geometriájú mikrohűtőbordák hőátadási együtthatói között – azonos áramlási sebességek esetén – az eltérés nem szignifikáns (10% alatti a különbség).

3.4. Kimutattam, hogy egy újszerű „Y” geometriájú mikrohűtőborda hőátadási együtthatója az ugyanolyan mélységű, de „I” geometriájú hűtőeszközénél adott áramlási sebességen mérve nagyobb (az eltérés gázáramlástól függően 40%, 24%) és a gázáramlás növelésével ez a különbség fokozatosan csökken.

Az eredmények hasznosítása

Doktori kutatásom során létrejött eredményeim a mikroelektronika egyes termikus problémáinak kezelésére adnak választ, így gyakorlati hasznosításuk egyértelmű.

A doktori disszertációm első részében bemutatott új elvű karakterizációs módszer valóban alkalmasnak bizonyult számítógép házakban található áramköri kártyák hőmérséklet-eloszlásának, így a hot-spot helyek érintésmentes, kvalitatív meghatározására a hősugárzás érzékelése alapján. Segítségével lehetővé válik különböző mikroelektronikai eszközök fárasztásos vizsgálatára alkalmazott magas-hőmérsékletű tesztkamrákban kialakuló hőmérséklet-eloszlás felvétele, ahol a homogenitás kiemelkedően fontos szempont.

A kutató munkám során bemutatott és kidolgozott eljárás segítségével az integrált áramkörök tokba való rögzítési minősége (legyen az ragasztás vagy eutektikus ötvözés) határozható meg az új hőtágulás-érezélesen alapuló módszerrel. Az új módszer alkalmazásával lehetővé vált az integrált áramkörök felrögzítési minőségének ellenőrzésére a vizsgálandó chip elektromos bekötése előtt.

A doktori disszertációm utolsó fejezetében bemutatott új eljárás alkalmazásával különböző mikroméretű (mikro-megmunkálással készült, mikroméretű csatornákat tartalmazó) hűtőeszközök termikus karakterizációjára nyílik lehetőség. A mikroméretű hűtőeszközök hőátadási együtthatója a bennük áramoltatott gáz illetve folyadék sebességének függvényében jól kimutatható. Segítségével különböző méretű, különböző csatorna geometriájú hűtőeszközök hőátadási együtthatója jól mérhetővé válik. A mérési eredményekre alapozva termikus szimulációs programokhoz elkészíthető a mikrohűtőborda termikus modellje.

Tézisekhez kapcsolódó publikációk

1. tézishez kapcsolódó publikációk

- [1] **György Bognár, Z. Szűcs, V. Székely, M. Rencz, “Contactless thermal characterization of high temperature test chamber”, IEEE Journal of Microsystem Technologies, (2009)**
- [2] Z. Szűcs, **Gy. Bognár**, V. Székely, M. Rencz, ”Contactless Thermal Characterization of High Temperature Test Chamber”, In: Proceedings of the Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP'08). Nice, Franciaország, 2008.04.09-2008.04.11, pp. 345-349., (2008)
- [3] **Gy Bognár**, V Székely, M Rencz, ”Contactless Thermal Characterization Method of PCB-s Using an IR Sensor Array”, In: Proceedings of the Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP'06).. Stresa, Lago Maggiore, Olaszország, 2006.04.26-2006.04.28, pp. 154-158., (2008)
- [4] **Gy Bognar**, V Szekely, M Rencz, ”Contactless thermal characterization method of of PCB-s using an IR sensor array”, In: Proceedings of the 12th International Workshop on THERMal INvestigations of ICs and Systems (THERMINIC'06). Nice, Franciaország, 2006.09.27-2006.09.29, pp. 48-53., (2006)

2. tézishez kapcsolódó publikációk

- [1] **György Bognár, Gyula Horváth, Zoltán Szűcs, Vladimír Székely, ”Die attach quality testing by fully contactless measurement method”, In: Proceedings of the 9 th IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS'06). Prága, Csehország, 2006.04.14-2006.04.18, (2006)**
- [2] P Szabó, G Perlaky, **Gy Bognár**, Gy Horváth, S Ress, A Poppe, V Székely, M Rencz, B Courtois, ”Thermo-mechanical characterization and integrity checking of packages and movable-structures”, In: NSTI Nanotech, The Nanotechnology Conference and Trade Show (NANOTECH'05). Anaheim, Amerikai Egyesült Államok, 2005.05.08-2005.05.12, pp. 331-334., (2005)
- [3] Gy. Horváth, **Gy. Bognár**, P. Szabó, S. Ress, A. Poppe, V. Székely, M Rencz, ”Novel non-contact measurement methods on semiconductor structures”, In: MICROTHERM'2005 International Conference Microtechnology and Thermal Problems in Electronics. Lodz, Lengyelország, 2005.06.19-2005.06.22, (2005)
- [4] G Perlaky, **Gy Bognár**, Z Szűcs, P Szabó, Gy Horváth, A Poppe, V Székely, M Rencz, ”Thermal and Thermo-Mechanical Characterization of Movable-Structures and Their Packages”, In: Proceedings of the Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP'05). Montreux, Svájc, 2005.06.01-2005.06.03, pp. 233-238., (2005)
- [5] **Gy Bognár**, V. Székely, ”Experiments for non-contact thermometry using laser interferometer”, In: Proceedings of the 9th International Workshop on THERMal INvestigations of ICs and Systems (THERMINIC'03). Aix-en-Provence, Franciaország, 2003.09.24-2003.09.26., pp. 193-196., (2003)

3. tézishez kapcsolódó publikációk

- [1] Desmulliez, M. P. Y., Pang, A. J., Leonard, M., Dhariwal, R. S., Yu, W., Abraham, E., **Bognár, Gy.**, Poppe, A., Horvath, Gy., Kohari, Zs., Rencz, M., "Fabrication and Characterization of a Low-Cost, Wafer-Scale Radial Microchannel Cooling Plate", IEEE Transactions On Components And Packaging Technologies (1521-3331) 32:(1) pp. 20-29. (2009)
- [2] **Kohári Zs, Bognár Gy, Horváth Gy, Poppe A, Rencz M, Székely V**, "Cross-verification of Thermal Characterization of a Microcooler", JOURNAL OF ELECTRONIC PACKAGING 129:(2) 167-171 (2007)
- [3] Zs Kohári, **Gy. Bognár**, Gy. Horváth, "Thermal characterization of a radial micro-channel cooling plate", In: Proceedings of the 8th IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS'05). Sopron, Magyarország, 2005.04.13-2005.04.16, pp. 232-235., (2005)
- [4] Zs Kohári, **Gy Bognár**, E Kollár, Gy Horváth, A Poppe, M Rencz, V Székely, "Cross-Verification of Thermal Characterisation of a Micro-Cooler", In: Proceedings of the 11th International Workshop on THERMal INvestigations of ICs and Systems (THERMINIC'05). Belgirate, Olaszország, 2005.09.28-2005.09.30, pp. 263-264., (2005)
- [5] Gy Horváth, **Gy Bognár**, Zs Kohári, A J Pang, M P Y Desmulliez, A Poppe, V Székely, M Rencz, "Thermal Characterisation of a Radial-Channel Micro-Cooler Plate", In: Proceedings of the Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP'05). Montreux, Svájc, 2005.06.01-2005.06.03., (2005)
- [6] **Gy Bognár**, Gy Horváth, Zs Kohári, A J Pang, M P Y Desmulliez, A Poppe, M Rencz, V Székely, "Thermal Characterization of a Radial Micro-Channel Cooling Plate", In: Proceedings of the 21st IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'05). San Jose, Amerikai Egyesült Államok, 2005.03.15-2005.03.17, pp. 135-140., (2005)
- [7] A Poppe, Gy Horváth, **Gy Bognár**, Zs Kohári, M P Y Desmulliez, M Rencz, "Experimental Study of a Radial Micro-Channel Cooling Plate", In: Proceedings of the 7th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC'05): Volume Two. Singapore, Szingapúr, 2005.12.07-2005.12.09, pp. 664-669., (2005)

I. Tézisekhez szorosan nem kapcsolódó publikációk

Lektorált magyar nyelvű folyóiratcikkek:

- [1] Szente-Varga Domonkos, **Bognár György**, "Modern áramköri megfontolások 3G integrált áramkörök tervezéshez", HÍRADÁSTECHNIKA LXII:(3) 39-46 (2007)
- [2] **Gy Bognár**, G. Szombathy, "1 GHz frekvencián működő változtatható osztásarányú frekvenciaosztó integrált áramkör", HÍRADÁSTECHNIKA 8: 22-27 (2002)
- [3] **Gy. Bognár**, "Nagyfrekvenciás nyomtatott huzalozású lemezek tervezése", ELEKTRO-net Vol. 6, pp. 80-83, (2002)

Nemzetközi folyóiratban megjelent, lektorált idegen nyelvű cikkek:

- [4] M. Loikkanen, **Gy. Bognár**, J. Kostamovaara, "PSRR improvement technique for single supply class AB power amplifiers", ELECTRONICS LETTERS 42: 1435-1436 (2006)
- [5] P. Fürjes, **Gy. Bognár**, I. Bársony, "Powerful tools for thermal characterisation of MEMS", SENSORS AND ACTUATORS B-CHEMICAL 120: 270-277 (2006)
- [6] **Bognár Gy**, Furjes P, Szekely V, Rencz M, "Transient Thermal Characterisation of Hot Plates", MICROSYSTEM TECHNOLOGIES 12:(1-2) 154-159 (2005)
- [7] G Farkas, Q van Voorst Vader, A Poppe, **Gy Bognár**, "Thermal Investigation of High Power Optical Devices by Transient Testing", IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS AND PACKAGING TECHNOLOGIES 28:(1) 45-50 (2005)

Nemzetközi részvételű konferencia kiadványában megjelent idegen nyelvű előadások:

- [8] A. Timár, **Gy. Bognár**, "Contactless characterization of MEMS devices using optical microscopy", 12th IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS'09). Liberec, Csehország, 2009.04.15-2009.04.17., (2009)
- [9] **Gy. Bognár**, "The impact of Students Scientific Conferences to the talents identification in the Hungarian microelectronics higher education" In: Proceedings of The 7th European Workshop on Microelectronics Education (EWME'08). Budapest, Magyarország, 2008.05.28-2008.05.30., (2008)
- [10] A. Timár, **Gy. Bognár**, "E-learning system and video tutorials in the microelectronics education", In: 7th European Workshop on Microelectronics Education (EWME). Budapest, Magyarország, 2008.05.28-2008.05.30, pp. 150-151., (2008)
- [11] A. Timár, Á. Vámos, **Gy. Bognár**, "Comprehensive design of a high frequency PLL synthesizer for ZigBee application", In: Proceedings of the 9th IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS'06). Prague, Csehország, 2006.04.14-2006.04.18., (2006). pp. 39-43.

- [12] M Kuuse, M. Loikkanen, **Gy. Bognár**, "Theoretical investigation of thermal feedback effects in low power circuits", In: Proceedings of the 11th International Workshop on THERMal INvestigations of ICs and Systems (THERMINIC'05). Belgirate, Olaszország, 2005.09.27-2005.09.30., (2005). pp. 1 0.
- [13] Gy. Masa, Zs. Benedek, **Gy. Bognar**, D. Sente-Varga, G. Farkas, A. Poppe, "Design aspects of an on-chip thermostat unit for the Educhip project", In: 15th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'05). Krakow, Lengyelország, 2005.06.22-2005.06.24., (2005)
- [14] P Szabó, O Steffens, G Farkas, **Gy Bognár**, "Thermal Transient Characterization Methodology for Packaged Semiconductors and MEMS Structures", In: 15th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'05). Krakow, Lengyelország, 2005.06.22-2005.06.24., (2005).
- [15] D Sente-Varga, **Gy Bognár**, M Rencz, "New architecture low power frequency divider on CMOS 0.35 μm ", In: Proceedings of the 8th IEEE Workshop on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS'05). Sopron, Magyarország, 2005.04.13-2005.04.16., (2005). pp. 87-92.
- [16] Szekely V, **Bognar Gy**, Rencz M, Ciontu F, Charlot B, Courtois B, "Design and Verification of an Electrostatic MemS Simulator", In: 2004 Nsti Nanotechnology Conference and Trade Show - Nsti Nanotech 2004, (2004). pp. 490-493.
- [17] P Fürjes, **Gy. Bognár**, I. Bársony, "Powerful Tools for Thermal Characterisation of MEMS", In: IEEE Sensors 2004, The 3rd IEEE Conference on Sensors. Vienna, Ausztria, 2004.10.24-2004.10.27., (2004). pp. & .
- [18] **Gy Bognár**, P Szabó, G Farkas, A Poppe, "Joint Electric and Thermal Characterisation of High Power Optical Devices", In: Proceedings of the 11th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'04). Szczecin, Lengyelország, 2004.06.24-2004.06.26., (2004). pp. 296-301.
- [19] G Farkas, S Haque, F Wall, P S Martin, A Poppe, Q van Voorst Vader, **Gy Bognár**, "Electric and Thermal Transient Effects in High Power Optical Devices", In: Proceedings of the 20th IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM'04). San Jose, Amerikai Egyesült Államok, 2004.03.09-2004.03.11., (2004). pp. 168-176.
- [20] **Gy Bognár**, P Fürjes, V Székely, M Rencz, "Transient thermal characterisation of hot plates", In: Proceedings of the Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP'04). Montreux, Svájc, 2004.05.12-2004.05.14., (2004). pp. 401-406.
- [21] B Charlot, V Székely, M Rencz, **Gy Bognar**, B Courtois, "An 8X8 Thermopile based uncooled infrared sensor", In: Emn04, European Micro and Nanosystems 2004, Esiee. &, &, 2004.01.01-2004.01.01., (2004). pp. 131-135.
- [22] G Farkas, Q van Vorst Vader, A Poppe, **Gy Bognár**, "Thermal Investigation of High Power Optical Devices by Transient Testing", In: Proceedings of the 9th International Workshop on THERMal INvestigations of ICs and Systems (THERMINIC'03). Aix-en-Provence, Franciaország, 2003.09.24-2003.09.26., (2003). pp. 213-218.