

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS
GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Vezető a műszaki felsőoktatásban



TERMIKUS TRANZIENSMÉRÉS-ŰT AZ ELMÉLETTŐL AZ IPARI FELHASZNÁLÁSIG

2023. május 17.

Közel 30 év telt el, amikor a mikroelektronikai iparban nélkülözhetetlenné váltak a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén kidolgozott tudományos eredményekre épült mérőeszközök.



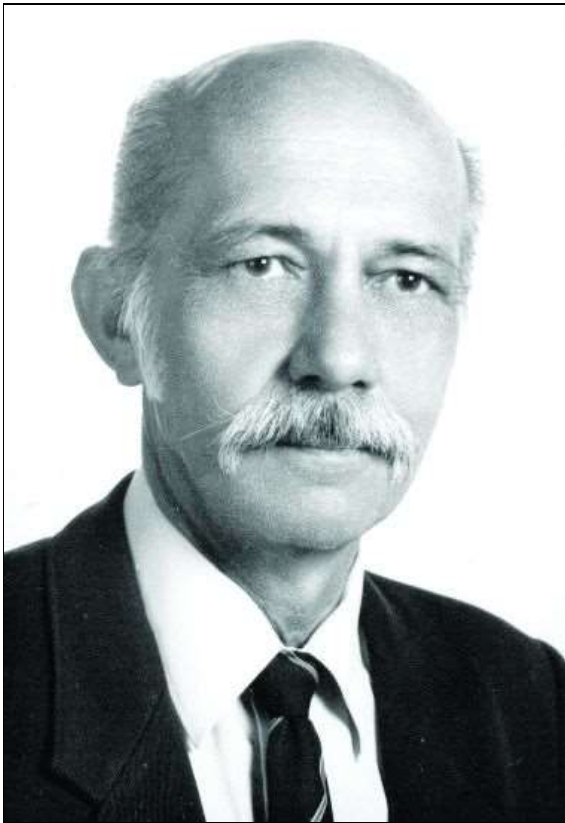
Székely Vladimír

A Springer kiadó gondozásában nemrég jelent meg „Theory and Practice of Thermal Transient Testing of Electronic Components” címmel **Rencz Márta, Farkas Gábor és Poppe András** által szerkesztett szakkönyv. A kiadó ajánlója szerint, ez a könyv felbecsülhetetlen értékű referencia a gyakorló mérnökök, hallgatók és kutatók számára, amely az elektronika termikus jellemzésének ma rendelkezésre álló legfontosabb módszerét, a termikus tranziens tesztelést tárgyalja. Rencz Márta professor emeritával és Poppe Andrással a BME Villamosmérnöki és Informatikai Kar Elektronikus Eszközök Tanszéke tanszékvezető egyetemi tanárával beszélgettünk arról, hogyan alkottak a tanszék kutatói **Székely Vladimír** elméletéből mérőműszert, abból szolgáltatást és végül miként született meg egy egyetemi tankönyvként is használható könyv.

Első fejezet: Az elmélet

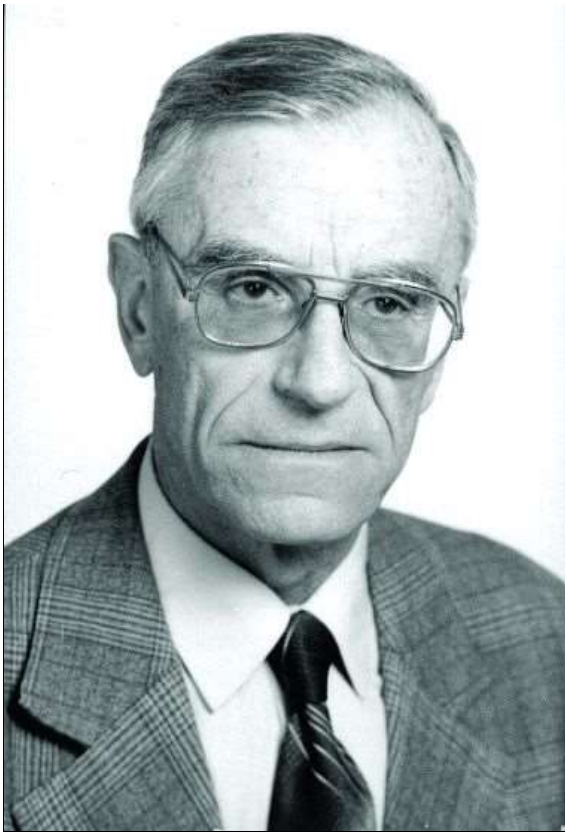
Minden elektronikus berendezésben a jelentkező veszteségek hővé alakulnak, legyenek ezek energiátviteli eszközök (pl. transzformátorok vagy ún. DC-DC konverterek), telekommunikációs eszközök (pl. mobil telefon), információfeldolgozó berendezések (pl. számítógépek), vagy akár fényforrások, mint például a LED-ek. Ez a veszteségi hő kisebb-nagyobb mértékben felmelegíti az eszközt/készüléket, amelynek hatására a benne működő félvezető eszközök paraméterei, elektromos viselkedése megváltoznak. A számítástechnikai eszközök, a szilárdtest világítástechnika, vagy éppen a teljesítmény elektronikai területén is tapasztalhatjuk a felvett elektromos teljesítmények szintjének növekedését, ami jellemzően együtt jár a keletkező és hő formájában távozni kényszerülő veszteség abszolút értékének a növekedésével is. Mindez, kombinálva a töretlenül folytatódó miniatürizációval és az egyre újabb és újabb elektronikai rendszerek megbízhatóságával kapcsolatos igények folyamatos növekedésével, nagy

kihívást jelent az elektronikai rendszereket tervező mérnöki csapatok számára. Székely Vladimir a 70-es évek elején kezdett az elektronikus eszközök termikus problémáival foglalkozni. Ekkor publikálta a Tarnay Kálmánnal korábban közösen kifejlesztett TRANZ-TRAN áramkörszimulációs program elektrotermikus kiterjesztéséről szóló első közleményét – ezzel a korát messze megelőző megoldást hozva létre. Ezt jól jelzi, hogy például a mai modern, LED-es lámpatestek tervezési munkafolyamatának is kulcseleme az elektrotermikus áramkörszimuláció. A 80-as években figyelme a termikus tranziens mérések felé fordult. Az USA-ban akkoriban szabványosított, idő tartománybeli termikus impedancia mérést újra értelmezve egy annál sokkal gyorsabb és pontosabb mérési eljárást javasolt arra, hogy miképp mérjük tokozott félvezető eszközök lapkák hőmérsékleti tranziens válaszát akkor, amikor az eszköz által disszipált hőteljesítmény ugrásszerűen megváltozik. E mérési eljárást, kombinálva a mérési eredmények feldolgozási és kiértékelési algoritmusával, nevezzük ma termikus tranziens méréseknek. Ez erre vonatkozó elméletét 1988-ban publikálta. Ez a cikk ma is a félvezető eszközök termikus tranziens méréseken alapuló vizsgálatának az alapját jelenti. A mérési adatokból a feldolgozó algoritmus által előállított ún. struktúra függvény mára a félvezető iparban széleskörűen elfogadott és különböző alkalmazási területeken használt eszközzé vált. Ezt az tette lehetővé, hogy a Székely Vladimir nagydoktori téziseiben megtestesült elméleti eredményekből kutató társaival a mai modern elektronikában egyedülálló, a mindennapi ipari gyakorlatban használható eszközrendszert dolgoztak ki. Rencz Márta ismerte fel, hogy a professzora által kidolgozott rendszer továbbfejleszhető: termikus jellel lehet vizsgálni egy elektronikai rendszer megbízhatóságát és a benne lévő termikus határfelületek minőségét. Ez mára az elektronikus berendezésekben használt félvezető alkatrészek megbízhatósági vizsgálatainak egyik kulcs elemévé vált.



„Az Elektronikus Eszközök Tanszékén **Tarnay Kálmán** akkor kezdett el foglalkozni az elektronika termikus problémáival, amikor még szinte senki sem foglalkozott ezzel a világon. Ő vezette be az áramkörök és félvezető eszközök számítógéppel segített tervezését az oktatásba. Utóda, az úttörő kutatásokat végző Székely Vladimir komoly nemzetközi sikereket ért el ezen a területen. A vasfüggöny mögött azonban hiába jelentek meg a publikációi, azok egyszerűen a semmibe veszttek, pedig az eredményei a Berkeleyvel azonos szinten voltak, pl. a TRANZ-TRAN áramkörszimulációs program már a berkely-i SPICE program előtt létezett és a KGST országokban ismert volt. A rendszerváltás után jött csak az első Tempus projekt, ahol már olyan partnerekkel tudtunk együttműködni, ami segített az EET termikus iskolájának az eredményeivel a vasfüggöny mögöl kitörni és megjelenni a nemzetközi porondon.”- emlékezett vissza a kezdetekre Poppe András.

„Az eddig elért sikereket és elismertséget a korábbi tanszékvezetők munkájának is köszönhetjük, akik éveken át dolgoztak azért, hogy a Műegyetem elektronikai és mikroelektronikai tevékenységét bekapcsolják a nemzetközi oktatási és kutatási vérkeringésbe. A tanszéket alapító **Valkó Iván Péter** professzor eredetileg a Tungstram kutatómérnökeként mikrohullámú elektroncsövek konstrukciójával és elektroncsövek mérésével foglalkozott. Az ő ötlete volt beléptetni a tanszéket a világ egyeteminek mikroelektronikával foglalkozó tanszékeinek szövetségébe. A mikroelektronika fellendülésének kezdetén ezt a kapcsolatot ápolta a Semiconductor University Bulletin (SUB) nevű szervezet, amely az e területen aktív nyugati egyetemi



tanszékek szövetsége volt. Székely Vladimír vezetése alatt tanszékünk nemzetközi együttműködése is kibontakozott, diákcsera programokat, valamint számos olyan projektben való részvételt eredményezett, melyet pl. az Európai Unió különféle programokkal támogatott (TEMPUS, Inco-Copernicus, ESPRIT,). Oktatásunk jelentősen megváltozott az olyan tárgyak bevezetése hatására, mint az Integrált mikrorendszerek, Nanotechnika, Érzékelők és beavatkozók, Optoelektronika, Határfelületek fizikája"- egészítette ki az elhangzottakat Rencz Márta.

Második fejezet: Műszer születik

A különböző mikroelektronikai eszközök melegedése az eszköz élettartama és teljesítőképessége, ill. hatásfoka növelésének egyik fő korlátja. Poppe András, támaszkodva Székely Vladimír korábbi eredményeire, az analóg integrált áramkört elemek geometriai elrendezéséből kiinduló, új, automatikusan végrehajtható eljárást dolgozott ki az integrált áramkörök elektrotermikus jelenségeinek számítógépes modellezésére, szimulációjára. Kollégáival és a tanszék végzős villamosmérnök hallgatóinak és doktoranduszainak egy csapatával az általa javasolt eljárást a 90-es évek egyik piacvezető, az iparban széleskörűen használt IC tervező keretrendszerben implementálta, amely megoldás akkor a világon az elsők között volt. Ezt a szimulációs módszert digitális áramkörök vizsgálatára kiterjesztve született meg az ún. logi-termikus szimuláció koncepciója, ahol a layout-függő termikus viselkedést magasabb absztrakciós szintű áramkörleírással kapcsoljuk össze és ennek alapján történik egy digitális IC viselkedésének vizsgálata.

Az elektrotermikus hatások a világító diódák esetében szintén nagyon fontosak. E probléma a 2014. évi Nobel-díjjal elismert, világítástechnikai célú világító diódák, az ún. teljesítmény LED-ek megszületése kapcsán került a ma szilárdtest világítástechnika (solid-state lighting) néven ismert iparág fókuszpontjába. A teljesítmény LED-ek pontos és korrekt elektromos, termikus és optikai karakterizálása csak e három különböző paramétercsoport együttes, egymással konzisztens módon történő mérésével lehetséges. Ezt felismerve, új, automatikus végrehajtást lehetővé tevő, kombinált eljárást és mérőállomást dolgozott ki munkatársaival közösen a nagy teljesítményű LED-ek termikus és optikai tulajdonságainak együttes mérésére. Poppe András eredményeinek értékét és újszerűségét az adja, hogy a felhasználásukkal megalkotott eljárások, valamint hardver- és szoftvereszközök képesek feltárni a vizsgált áramkörök elektromos és termikus jelenségeinek kölcsönhatásait, LED-ek esetében azok fénytechnikai következményeit. Poppe András eredményeinek felhasználásával megvalósított – számos professzionális áramkörtervező rendszerben is megjelenő – szimuláció az elektronikai tervezés és prototípusgyártás hatékony segédeszközévé vált. Poppe András e mérés technika megszületése után több évig aktívan közreműködött az iparág legfontosabb szabványosítási munkáiban.

Az elméleti módszerből hogyan lett mérőműszer?

Poppe András

Székely Vladimír 1989-ben védte meg a nagydoktori disszertációját a termikus tranziens mérésről. Ezzel, és a korábbi elektro-termikus szimulációt lehetővé tevő algoritmusok első megvalósításaival ütőképes partnerek voltunk az akkor



induló első, a kelet-európai országok kutatócsoportjait célzó közvetlen európai uniós pályázaton, az Inco-Copernicus program keretében. A korábbi Tempus-együttműködés kapcsán a grenoble-i TIMA Laboratóriummal és az akkor frissen alakult magyar Semilab céggel, valamint a Lodz-i Műszaki Egyetem mikroelektronikai tanszékével, ezzel a kész csomaggal sikerrel pályáztunk, és 1994-ben elindult a THERMINIC projekt (THERMal INvestigations of ICs and microstructures) A projekt sikeres volt, magát a termikus tranziens mérés technikáját és a tranziensek adatfeldolgozását sikerült az ipar számára használható irányba továbbfejlesztelnünk. E projekt éves vitafórumaként indítottuk el a THERMINIC Workshop-ok sorozatát, amely mára termikus témákkal foglalkozó nemzetközi kutató közösség legjelentősebb európai konferenciasorozataként ma is létezik, és idén szeptember 27-29 között újra Budapesten kerül megrendezésre.



Rencz Márta

A projektben közreműködött a mai SEMILAB Zrt. őse. Ők elvégezték a projekt rájuk eső részét: a BME által készített specifikációk alapján megépítették egyipari körülményeknek is megfelelő termikus tranziens mérő berendezés demonstrációs példányát, de a berendezés terméké fejlesztésében nem láttak üzleti lehetőséget, így a THERMINIC projekt befejezése után e témával nem foglalkoztak tovább.

Poppe András

Szerencsére 1997-ben, a Thermic projekt záró beszámolóján az egyik review-er, a Philips Research képviselője, felvetette, hogy minden nagyon szép, mindennel meg vagyunk elégedve, de hol van itt az ipari hasznosítás? Ekkor hoztuk létre a spin-off cégünket a MicReD Kft-t. Alapítói Székely Vladimir és felesége, Rencz Márta és az én voltunk, később csatlakozott hozzánk egykori kollégánk, Farkas Gábor. 1999-ben, a 2000-ben elindított újabb európai uniós termikus kutatási projekt előkészítő fázisával egy időben elkészítettük egy új, az amerikai vetélytársaknál nagyságrendekkel jobb termikus tranziens mérőműszer prototípusát, amit az 1999. októberében, az 5. THERMINIC Workshopon a szélesebb szakmai közönségnek is bemutattunk Rómában. Jókora voltunk, jó helyen: a 2000-ben indult új, PROFIT névre hallgatató termikus témájú projekt partnerei számára kész, európai gyártású, valódi termikus tranziens mérőműszert tudtunk felkínálni. Ez teljes összhangban volt az FW5-ös kutatási projektek eszközbeszerzési irányelveivel, amelyek szerint az európai gyártású berendezések vásárlását preferálták, ha volt európai kínálat. Ilyen használható eszköz pedig csak a miénk volt. Ennek révén Európa akkori három vezető félvezető gyártója, az Infineon, az ST Microelectronics és a Philips Semiconductors (a mai NXP elődje) lett az azóta T3Ster védjegy révén ismertté vált műszerünk első felhasználója.

Mire és miért jobb ez az eszköz, mint a korábbiak?

Rencz Márta

A korábbi, amerikai termikus impedancia-görbe mérő berendezésekhez képest a mi megoldásunk több szempontból is jobb. Egyrészt a mérési módszerünk egyszerűbb, jóval pontosabb és jóval gyorsabb. Ennek lényege az, hogy a tokozott félvezető lapka felületén kialakuló hődisszipációt mi ugrás-szerűen kapcsoljuk. Matematikai nyelven kifejezve,

ez egy lineáris rendszer ún. egységugrás gerjesztésének felel meg. A lineáris rendszerek elmélete szerint az egységugrás gerjesztésre a rendszer által adott tranziens válasz a rendszer tulajdonságaira vonatkozó minden információt magában hordoz. A mi esetünkben ez a válaszfüggvény "A" termikus tranziens. Tehát a tokozott félvezető lapka felszínén, amit a termikus problémákkal foglalkozó gépészmérnökök egyszerűen csak "junction"-nak hívnak, a hődisszipációban egy ugrás-szerű változást idézünk elő, és a termikus tranziens mérőműszer ezen "junction" hőmérsékletének időbeli megváltozását méri. Angolul ezt hívják a tokozott félvezető chip "junction temperature transient"-jének. E hőmérsékleti tranzienszt normálva a disszipációváltozás mértékével kapjuk a termikus impedancia görbét – sokkal egyszerűbben, mint ahogy azt az amerikai versenytársak mérik.

Műszerünk másik különlegessége, hogy az okosan megvalósított tranziens mérés mellett tartalmazza a Székely Vladimír által javasolt és kidolgozott adatkiértékelési módszert, amely ma a NID-módszer (NID: network identification by dconvolution), vagy Székely-módszer néven vált ismertté. Az adatfeldolgozás eredményeképpen jutunk az ún. *struktúra függvényekhez* (structure functions). Röviden: a struktúra függvények alapján

meg tudjuk mondani, hogy jó-e a tokozás struktúrája vagy sem. Úgy is tekinthetünk a struktúra függvényekre, mint a félvezető tokok egy dimenziós röntgen képeire.

Amikor mi ezt integrált áramkörökre kezdtük el használni, akkor még sokkal kevesebb jelentősége volt a tokok megbízhatóságnak, mert nem a jelenleginél jóval kevesebb hőt disszipáltak az IC-k; kb. 2000-ig még nőtt a mikroprocesszorok órajel frekvenciája is; a tokokban a hűtéssel sem foglalkoztak olyan behatóan, mint ma.

A módszer, az elmondottak alapján, nagyon egyszerűnek tűnik, de nem az. Hamar kiderült, hogy ebben a témában borzasztó sok kutatásra van lehetőségünk. A 90-es évektől kezdve doktorandusz hallgatóknak sora szerzett PhD fokozatot a termikus tranziens mérések finomítása, újabb és újabb alkalmazási területeinek kidolgozásával kapcsolatos kutatások alapján. Sokan foglalkoztak azzal is, hogy a különböző eszközöket a tok minősítésen kívül hogyan és mire lehet még használni, például a megbízhatóságra következtetni belőle, vagy a félvezető tokok gyártósori minősítésre használni.

Poppe András

Amikor a mikroelektronika fejlődése elérte a CPU órajel frekvenciáknál a gigahertzes tartományt, akkor jött el az izgalom időszaka, mindenki kereste a jó minősítési, mérési megoldásokat, ami nekünk már megvolt. Azért említettem a spin off cégünket, mert az a tudáshalmaz, ami a könyvünkben megtestesül nem úgy született, hogy itt ültünk az egyetemi asztalunknál, hanem komoly gyakorlati munkával, én például *field engineering* feladatokat is elláttam a cég korai időszakában, Farkas Gáborral közösen körbe utaztuk a fél világot.

A műszer fejlesztése nem állt meg, mi volt a következő lépés?

Poppe András

A műszer elfogadtatásában sokat segített, hogy nem egy kis magyar kft színeiben tettük ezt, hanem szépen „becsomagoltuk” magunkat, ami alapján egy korábbi, a már említett PROFIT projektbeli partnerünk, az egykori angliai FLOMERICS cég megkeresett minket, a két cég „egyesülését” felajánlva. A FLOMERICS csoport tagjaként így komoly partnerként jelenhettünk meg az USA és Délkelet-Ázsia piacán is, megsokszorozva a MicReD éves forgalmát. Egy közös víziót alakítottunk ki: a FLOMERICS termikus szimulátora, a ma is jelentős piaccal rendelkező FloTHERM program tok modelljeit a MicReD T3Ster műszerének mérési eredményei alapján lehetett pontossá tenni, mind a tokmodellek belső geometriai jellemzői, mind a tokokban használt szerkezeti anyagok termikus paraméterei tekintetében.

A FLOMERICS a szoftvert, mi a validáló eszközt adtuk be a közösbe. Ez a 2005-ből származó vízió tulajdonképpen az elmúlt pár évben vált igazán valósággá, amikor mindkét cég az amerikai Mentor Graphics, később pedig a SIEMENS részévé vált. A sikerünk egyik titka, hogy rájöttünk, hogy nem csupán csak egy műszert kell adni (azt más is ad), nem is csak mérő hardvert és adatfeldolgozó szoftvert, hanem egy komplex megoldást kínálnunk a félvezető ipar szereplői számára! Ebben pedig Farkas Gábor végez évtizedek óta remek munkát, felismeri a problémát és megadja rá a komplex megoldást.

Rencz Márta

Az ipar felismerte, hogy a mai fejlett eszközök esetében validálni kell a szimulációs modelleket. Itt ugyanis az anyag paraméterek nagyon kritikusak, hiszen azt sem lehet tudni, hogy egy adott réteg milyen vastag, mert a gyártás során hol így, hol úgy sikerül a dolog. Egy félvezető tok szerkezetében számos ún. termikus határfelület (thermal interface) van. Ezek – két, egymással érintkező, különböző szerkezeti elem – a hőátadás szempontjából általában akadályt képeznek, hiszen az érintkező felületek mindig egyenetlenek, mikró méretekben tekintve, csak néhány ponton illeszkednek egymással. A köztes úrt ún. termikus határfelületi anyagokkal (thermal interface materials – TIM) töltik ki. Ezek közül a legismertebb az ún. termikus zsír, amit pl. egy asztali PC összeállításakor a processzor-tok és a hűtőborda közé kell kenni. Végső soron ezen TIM anyagoka viselkedése határozza meg, hogy végül is jó lesz-e a hőelvezetés a félvezető lapka felületéről, vagy sem. Ezt lehet jól minősíteni a mi módszerünkkel. Ma már a nanotechnológiával készült új TIM anyagok megbízhatóságát, a hőelvezetés megfelelőségét és az áramkörre gyakorolt hatását is tesztelni tudjuk.

Cégünket először a Mentor Graphics nevű amerikai cég vásárolta meg, majd ezt a céget vásárolta fel a SIEMENS.

A megalkotott mérőeszközcsalád az imént elmondott mérési elven alapuló dedikált berendezések sorát foglalja magába, ezek már mind különböző berendezések, de a lényegük, a szívük a termikus tranziens mérési mód. A berendezések mindegyike a SIEMENS globális portfóliójában érhető el, de megjelölésükre megmaradt a MicReD és T3TER védjegy, ahogy e berendezéseket a világ kb. 25 évvel ezelőtt megismerte., miközben a továbbfejlesztés és az összeszerelés továbbra is korábbi magyarországi telephelyünkön, az Infoparkban történik, mintegy 50 embernek adva munkát Magyarországon.

Mire használják az ipar szereplők ezt a mérőeszközt?

Rencz Márta

A Henkel cég arra vette meg, hogy az általa kifejlesztett TIM anyagoknak a termikus viselkedését minősítse vele. A China Southern Railways (CSR) az általa gyártott villanymozdonyok meghajtó egységeibe beépített teljesítmény elektronikai modulok minősítésére, megbízhatósági vizsgálataira használja a MicReD T3STER technológiát. De vásárolt tőlünk, még amikor csak független "MicReD" voltunk, az Intel is. Az egyik legnagyobb sikerünk pedig az volt, amikor, egy kínai cégnek egyszerre 10 berendezést értékesítettünk. A mostani sláger termék a MicReD PowerTester, ami a teljesítmény elektronikával foglalkozó cégek de facto standard eszköze.

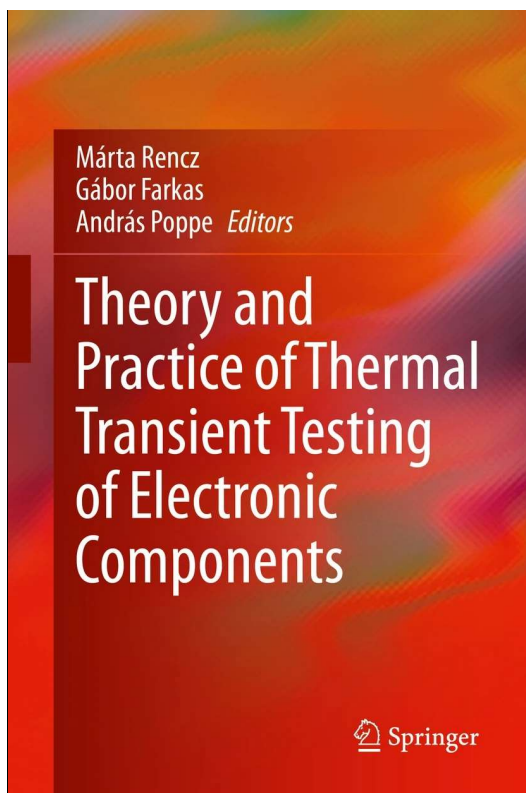
Poppe András

Talán érdekes megemlíteni azt, hogy a 2023. januárjában a tanszék részvételével indult új, PowerizeD nevű Horizon Europe KDT projektben a nagy ipari partnerek a teljesítményelektronikai megbízhatósági vizsgáló laborok piktogramjaként a PowerTester berendezés fényképét használják. A PowerTester berendezéssel mért adatokból egy-egy teljesítményelektronikai modul (pl. egy több kW teljesítmény kapcsolására képes ún. IGBT modul) szerkezetének az öregedése állapítható meg.

Az elektromos autógyártás felpörgetése, vagy a megújuló energiaforrások egyre nagyobb térnyerése most újabb lökést ad ezeknek az eszközöknek a fejlesztéséhez, értékesítéséhez.

Harmadik fejezet: Könyv születik 40 év tudásanyagából

A könyv leírja a félvezető eszközök termikus tranziens mérésének elméleti hátterét, az alkalmazott matematikai modelleket, és az eljárásokat, amivel egy tokozott eszköz szerkezeti integritását lehet ellenőrizni, azaz a hőáramlás útjába eső rétegek paramétereit lehet mérni és a mérési eredmények alapján akár automatikus eljárások segítségével modellezni. A módszer alkalmazása nem mindig egyszerű. A különféle elektronikus eszközök (pl. diódák, tranzisztorok, ún. széles tiltott sávszélesség félvezető anyagokból készült eszközök, kondenzátorok, LED-ek, stb) termikus karakterizálása a közös elvi alapokon nyugvó mérés gyakorlati megvalósításának különböző módszereit igényli. A könyv egyik fő erőssége éppen ezért az, hogy egyes eszközök méréséhez, mérési eredmény kiértékeléséhez példákkal illusztrált gyakorlati útmutatókat ad.



A könyv leírja a félvezető eszközök termikus tranzienst mérésének elméleti hátterét, az alkalmazott matematikai modelleket, és az eljárásokat, amivel egy tokozott félvezető eszköz szerkezeti integritását lehet ellenőrizni, azaz a hőáramlás útjába eső anyagrétegek termikus paramétereit lehet mérni, és a mérési eredmények alapján akár automatikus eljárások segítségével modellezni. A módszer alkalmazása nem mindig egyszerű. A különféle elektronikus eszközök (pl. diódák, tranzisztorok, ún. széles tiltott sáv szélességű félvezető anyagokból készült eszközök, kondenzátorok, LED-ek, stb.) termikus karakterizálása a közös elvi alapokon nyugvó mérés gyakorlati megvalósításának különböző módszereit igényli. A könyv egyik fő erőssége éppen ezért az, hogy egyes eszközök méréséhez, mérési eredmény kiértékeléséhez példákkal illusztrált gyakorlati útmutatókat ad.

Mikor gondoltak először arra, hogy eddigi tapasztalataikat, eredményeiket egy könyvben foglalják össze?

Poppe András

Engem többször megkerestek ezzel a kéréssel, de mindig visszautasítottam, mert úgy gondoltam, hogy rengeteg kurzust tartottunk, sokat publikáltunk a témában. Végül rájöttem, hogy nagyon hiányzik egy jó egyetemi oktatókönyv ebben a témában. Hatalmas anyagot rendszereztünk, ez a könyv egyik előnye. Minden egy helyen található meg, a cikknél fárasztó az irodalomjegyzéken átrágnia magát az olvasónak, viszont anélkül nem értené meg a cikket.

Rencz Márta

Emlékeim szerint mintegy 5 évvel ez előtt érkezett a felkérés. Amikor elvállaltam ezt a könyvet 2019-ben, akkor ennek a megkeresésnek semmi köze sem volt a SIEMENES-hez, amelynek többszöri felvásárlások révén az egykori spin-off cégünk egy részlegévé vált. Azért fogadtuk el a felkérést, mert úgy gondoltuk, hogy egy olyan anyagot kell ebben a témában az érdeklődők kezébe adni, ami egyetemi tankönyv is lehet. Amikor a SIEMENES észlelte, hogy szerződés van a Springerrel közölték velem, hogy siemens-esként ehhez nincs jogom. A könyv végül közel egy évig tartó jogi vita után, a SIEMENS elvi és gyakorlati támogatásával készülhetett el. Így lehetőségünk volt naprakésszé tenni az anyagot: a legutolsó konferencia cikkeket is és a legfrissebb ipari alkalmazási példákat is bele szőttük!

Utószó

Poppe András:

A tanszékünket mindig is az a gondolkodásmód jellemezte, hogy amit kitalálunk az hasznosítható legyen az ipar számára. A spin-off cégünk története a piacon, egy iszonyú jó lecke volt abból, hogy mi az, ami az európai, ill. az amerikai és ázsiai nagyiparnak kell. Multi környezetbe kerülve erről egyre többet tanultuk és tanulunk most is, például most a német autóipar működését, hogyan kell kielégíteni annak tesztigényeit.

Rencz Márta

A tanszék fejlődésének és nagyon sok kutatási projektjének a Siemens együttműködés volt a háttere. Ennek a kapcsolatnak köszönhetően évekként azok piaci megjelenése előtt rengeteg új berendezést, eszközt tudunk mérni, így előre tudunk dolgozni, például most a LED-eknél is. Véleményem szerint egy műszaki egyetemnek az a dolga, hogy segítse az ipar fejlődését, különösen egy ilyen gyorsan fejlődő szakterületen, mint a miénk. Legyenek olyan egyetemi

emberek, akik nem sajnálják a fáradságot, hogy olyan új módszereket, új eljárásokat találjanak ki, amivel az ipar gyorsabban tud előre haladni.

Rencz Márta szakmai életpályája

1973 – a BME Villamosmérnöki Karán (ma VIK) villamosmérnök szakon végzett, ugyanebben az évben végezte el a BME mérnök-tanári képzését is, 1980-ban megszerezte egyetemi doktori címét

1995 – PhD-fokozatot szerzett,

2004 – habilitált

2005 – az MTA doktorává választották

2005-2014 – a BME VIK Elektronikus Eszközök Tanszék (EET) tanszékvezetője

2013 – a Tallini Műszaki Egyetem díszdoktora

Díjak, kitüntetések

1997 – Széchenyi professzori ösztöndíj

2001 – Harvey Rosten-díj, megosztott DATE IC dizájn elismerés

2006 – Best paper kitüntetés (IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies)

2013 – Pro facultate díj (BME VIK)

2015- Allan Kraus Thermal Management Medal díj (ASME, American Society of Mechanical Engineers, magyarul Amerikai Gépészmérnökök Egyesülete)

2016 – Szent-Györgyi Albert-díj

2019 – „Thermal Hall of Fame Lifetime Achievement Award” életműdíj

Oktatási területe, tantárgyai:

Elektronika, mikroelektronika, számítógépes tervezés, mikroelektronikai termikus problémák

Kutatási területei: termikus és elektrotermikus hatások vizsgálata mikroelektronikai rendszerekben, elektronikai rendszerek termikus tesztelése és minősítése, termikus hatások modellezése elektronikai rendszerekben, integrált áramkörök és mikrorendszerek termikus szimulációja, integrált áramkörök és mikrorendszerek elektrotermikus szimulációja, IC tokok többkapus dinamikus modellezése.

Poppe András szakmai életpályája

Poppe András 1962-ben született Budapesten. 1986-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. 1996-ban a műszaki tudomány kandidátusa lett és PhD fokozatot szerzett a BME-n, 2019-ben MTA doktora fokozatot szerzett. **1989-1990** között vendég kutató volt a Leuveni IMEC-ben (Belgium); ezzel egyidejűleg posztgraduális tanulmányokat folytatott a Leuveni Katolikus Egyetemen. 1996 óta egyetemi docens a BME-EET-n, 2013 óta a BME-EET tanszékvezetője, 2019 óta egyetemi tanár. 1997-ben részt vett a MicReD cég megalapításában (jelenleg: SIEMENS Digital Industry Software Kft. MICRED üzletág), ahol 2012-ig műszaki marketing feladatokkal foglalkozott, 2013-2018 között a cég LED mérési megoldásainak termékmendzszere volt; jelenleg a SIEMENS Digital Industry Software Simulation and Test Solution stratégiai innovációs csoportjában tudományos tanácsadó.

Több hazai és nemzetközi kutatási projekt résztvevője, ill. témavezetője volt (pl. KÖZLED, ill. EU FW7 Fast2Light, NANOTHERM, EU H2020 **Delphi4LED** (<http://delphi4led.org/>), AI-TWILIGHT, Horizon Europe PowerizeD). Poppe András részt vesz a JEDEC JC15 és a CIE TC2-91 nemzetközi szabványosítási bizottságok munkájában.

Jelentősebb szakmai elismerései: 1993: Kruspér István emlékérem (MATE), 1994: Pollák-Virág-díj (HTE), 1998: Szechenyi Professzori Ösztöndíj, 2013: Harvey Rosten Award for Excellence (Harvey Rosten Alapítvány, USA), 2018: Déri-díj (MEE), Harvey Rosten Award for Excellence (tanítványaival megosztva; Harvey Rosten Alapítvány, USA), 2023: Urbanek-díj (MEE)

Kj

[_ \(https://www.bme.hu/#facebook\)](https://www.bme.hu/#facebook)

[_ \(https://www.bme.hu/#twitter\)](https://www.bme.hu/#twitter)