

TRENDI NA PODROČJU HIBRIDNE DEBELOPLASTNE TEHNOLOGIJE

Darko Belavič
HIPOT d.o.o., Šentjernej, Slovenija
Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: fizika, elektrotehnika, elektronika, mikroelektronika, tehnologije hibridne debeloplastne, trendi razvoja, elektronika industrijska, MCM moduli multichip, LTCC tehnologije žganja keramike nizkotemperaturne, HTCC tehnologije žganja keramike visokotemperaturne

Povzetek: Hibridna debeloplastna tehnologija je zrela tehnologija, vendar je, kakor ostale elektronske tehnologije, v zadnjih desetih letih tudi ona doživljala pomembne spremembe. Spreminjala se je zaradi različnih tehničnih in tržnih vplivov, kot so konkurenčne tehnologije, razvoj novih materialov in elektronskih komponent, vrsta aplikacij, zahteve naročnika, globalizacija trga, itd. V Sloveniji pa je na razvoj še dodatno vplivala družbena in gospodarska tranzicija ter izguba "južnih" trgov. V prispevku so prikazani tehnološki in tržni trendi v svetu in v Sloveniji na področju hibridne debeloplastne tehnologije.

Technology Trends Within the Thick-film Hybrid Microelectronics

Keywords: physics, electrotechnics, electronics, microelectronics, hybrid thick film technologies, development trends, industrial electronics, MCM, Multi-Chip Modules, LTCC technologies, Low Temperature Cofired Ceramic, HTCC technologies, High Temperature Cofired Ceramic

Abstract: A thick-film technology is a mature technology. But like other technologies in electronic industry, the traditional market for thick-film hybrid circuits is changing fast. Over the last ten years the market for thick-film hybrid circuits was changed in term of types of market, technology, applications and geographic region. These changes were and are driven by competitive technologies, new materials and technologies, globalisation of the world market, etc.. Additional influence on the market in Slovenia had the social-economical transition and dissolution of former Yugoslavia. In this paper the technology and market changes and trends within the thick-film hybrid microelectronics in general and especially in Slovenia are described.

Uvod

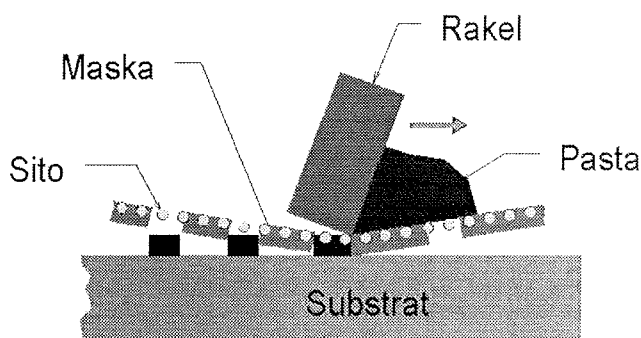
Hiter razvoj in globalni značaj svetovne elektronske industrije je gonilo za prenekatero področja znanosti in tehnologije kakor tudi za nekatere ostale industrijske panoge. Zaradi svoje velikosti pa vpliva tudi na splošen gospodarski razvoj držav, ki sodelujejo v tej industriji. Svetovni trg elektronskih izdelkov je leta 1997 znašal 993 milijard dolarjev in se pričakuje, da se bo do leta 2005 več kot podvojil in dosegel obseg dva bilijona dolarjev letno ter s tem postal največji posamezni svetovni trg /1/. Segment tega trga, ki ga je zavzemal "hardware" je bil približno 700 milijard dolarjev in se naj bi povečal na 1,6 bilijona dolarjev. Posamezni, najpomembnejši delež "hardwera" je vezan na procesiranje elektronskega signala, ki je obsegal 250 milijard dolarjev in se naj bi povečal za 2,6 krat, na 640 milijard dolarjev. Več kot polovico omenjenega tržnega deleža zavzemajo polprevodniške komponente s tržnim obsegom 140 milijard dolarjev v letu 1997 in s predvidenim povečanjem na 400 milijard dolarjev v letu 2005. Preostanek tržnega deleža pa pokrivajo t. i. sklopi (ang. packaging) kamor spadajo različne tehnologije za povezovanje, integracijo, zaščito, zapiranje v ohišje, itd. V ta tržni segment spada tudi hibridna debeloplastna tehnologija, ki se že od prve polovice šestdesetih let uporablja za izdelavo elektronskih vezij v obliki sklopov oziroma modulov.

Nadaljevanje bo posvečeno hibridni debeloplastni tehnologiji, ki je, tako kakor ostale elektronske tehnologije, v zadnjih desetih letih doživljala pomembne tehnološke in tržne spremembe.

Hibridna debeloplastna tehnologija

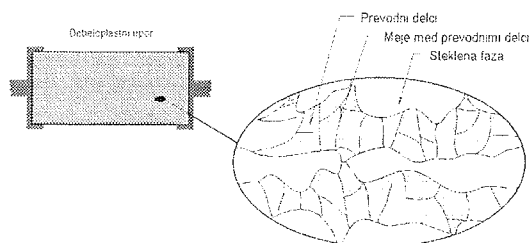
Hibridno debeloplastno vezje lahko opišemo kot majhno elektronsko vezje (sklop ali modul) sestavljeno iz debeloplastnega vezja in diskretnih elektronskih komponent. Ime hibrid ima zato, ker je modul izdelan z dvema ali več tehnologijami.

Osnovna hibridne debeloplastne tehnologija je debeloplastna tehnologija. To je tehnologija, ki z metodo sitotiska, sušenja (150°C) in žganja (850°C) debeloplastnih past integrira na keramičnem substratu (Al_2O_3) prevodne plasti, izolacijske plasti in upore. Princip sitotiska je prikazan na sliki 1. Izdelek imenujemo debeloplastno vezje, ker so debeline posameznih plasti po žganju okoli 15 μm , pri tankoplastni tehnologiji pa so plasti debele pod 1 μm .

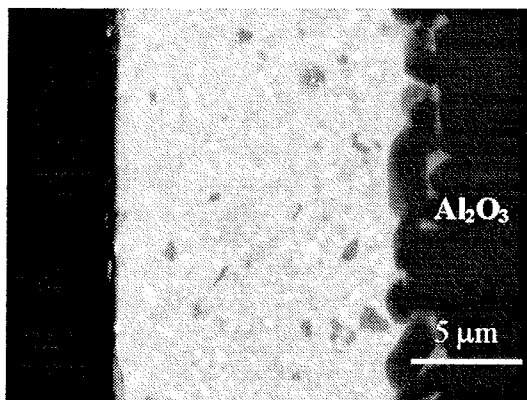


Slika 1: Princip tiskanja debeloplastnih past.

Prevodne linije in plasti so izdelane s tiskanjem debeloplastnih prevodnih past iz plemenitih kovin, kot so paladij, srebro, platina in zlato. Izolacijske plasti za križanje prevodnih linij in za izdelavo večplastnih vezij so izdelane z dielektričnimi pastami, ki so narejene na osnovi mešanice steklo-keramike. Dielektriki z nizko dielektrično konstanto se uporabljajo kot izolacijske plasti pri večplastnih vezjih visokih gostot. Dielektriki z visoko dielektrično konstanto pa se uporabljajo v nekaterih primerih za izdelavo debeloplastnih kondenzatorjev. Debeloplastni upori so izdelani iz uporovnih past z različnimi plastnimi upornostmi (od 10 do 10M ohm/kvadrata). Debeloplastne uporovne paste so sestavljene iz prevodnih kovinskih oksidov (npr.: rutenijev oksid ali rutenati) in steklene faze kot veziva. Debeloplastni upor in njegova struktura sta shematično prikazana na sliki 2. Na sliki 3 pa je prikazana mikrostruktura preseka debeloplastnega upora, posneta z elektronskim vrstičnim mikroskopom. Razmerje prevodnih delcev in steklene faze določa specifično upornost materiala. Končno (želeno) vrednost upornosti pa se dobi z laserskim doravnavanjem. Za zaščito debeloplastnega vezja pred mehanskimi in drugimi vplivi okolice se uporabljajo steklene zaščitne plasti, ki se žgejo pri nižji temperaturi (550°C). Vse debeloplastne paste vsebujejo poleg naštetih materialov še organska polnila, ki določajo pastam lastnosti, ki so potrebne za kvalitetno tiskanje. Ti organski materiali se, med sušenjem tiskanih plasti pri temperaturi od 150°C do 400°C, izločajo iz past.

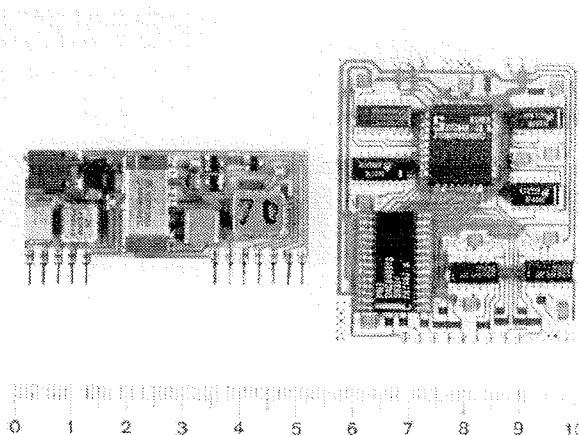


Slika 2: Debeloplastni upor in njegova struktura - shematično.



Slika 3: Mikrostruktura debeloplastnega upora posneta z elektronskim vrstičnim mikroskopom (Vir: Marko Hrovat in Zoran Samardžija).

Druga faza pri izdelavi hibridnega vezja je pritrjevanje diskretnih elektronskih komponent. Elektronske komponente različne po obliki (gole tabletki, SMD (surface mounted device), flip-chip, CSP (chip scale package), itd) in po funkciji (aktivne in pasivne komponente, monolitna integrirana vezja, itd) se pritrjujejo na debeloplastno vezje z različnimi tehnologijami, kot so spajkanje, bondiranje (povezovanje z zlato ali aluminijasto žičko), lepljenje itd. Na koncu pa se običajno hibridno vezje zaščiti z eno izmed izbranih metod, kot so potapljanje v lak ali barvo, potapljanje v epoksidne zalivke, oziroma zapiranje v plastična, keramična ali kovinska ohišja. Primer dveh hibridnih debeloplastnih vezij s SMD komponentami je prikazan na sliki 4.



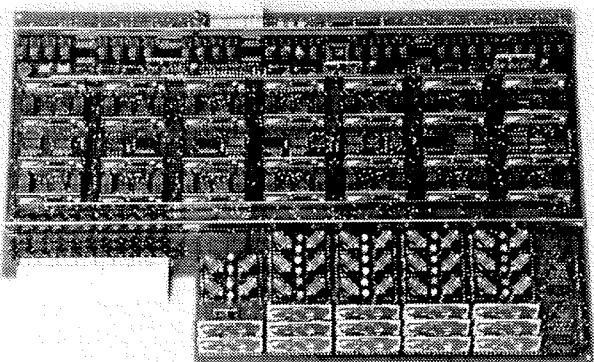
Slika 4: Dva hibridna debeloplastna vezja s SMD komponentami. SIL oblika vezja na levi strani za pokončno montažo in DIL oblika na desni za ležečo montažo.

Položaj hibridne debeloplastne tehnologije

Hibridna debeloplastna tehnologija je zrela tehnologija, saj je bil prvi debeloplastni izdelek narejen že v štiridesetih letih. Vendar se je šele v začetku šestdesetih let hibridna debeloplastna tehnologija razvila kot ena izmed mikroelektronskih tehnologij.

V splošnem je hibridna debeloplastna tehnologija ena izmed elektronskih tehnologij in je glede na stopnjo integracije postavljena med monolitno integrirano vezja in tiskana vezja. Vse omenjene tehnologije se neprestano razvijajo in na ta način medsebojno vplivajo druga na drugo. Hibridna debeloplastna tehnologija po eni strani predstavlja alternativo tako elektronskim vezjem na tiskaninah kot tudi monolitnim integriranim vezjem. Po drugi strani, kar je veliko pomembnejše, pa je komplementarna z obema omenjenima tehnologijama. Hibridna debeloplastna tehnologija omogoča povezovanje integriranih vezij in ostalih elektronskih komponent na keramičnem substratu, oziroma omogoča uporabo v tej tehnologiji izdelanega vezja na tiskanem vezju. Tak primer je prikazan na sliki 5. Na sliki je naročniška plošča telefonske centrale IS2000, ki ima poleg ostalih komponent še 64 hibridnih debeloplastnih

vezij. Naročniška plošča omogoča priključitev 28 telefonskih linij, medtem ko je prejšnja generacija (brez hibridnih debeloplastnih vezij) omogočala priključitev le osmih telefonskih linij. Proizvajalec centrale pa ima razvoju že nove generacije central s tehnologijo, ki omogočajo še večje gostote.



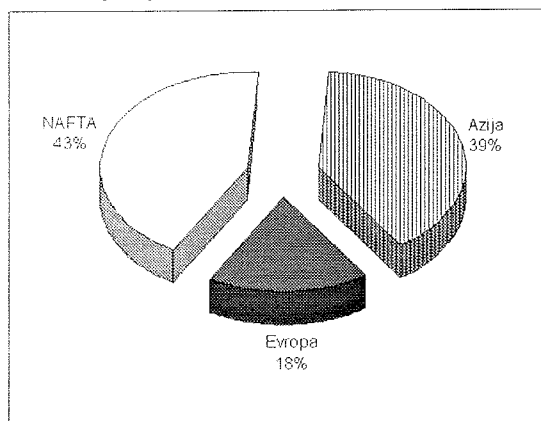
Slika 5: Naročniška plošča telefonske centrale IS2000 (proizvajalec Iskratel, Kranj) s 64 hibridnimi veziji (proizvajalec HIPOT-HYB, Šentjernej).

Glede na področje uporabe ima hibridna debeloplastna tehnologija prednost v sistemih, kjer je potrebna večja stopnja zanesljivosti delovanja in kjer so pomembne mehanske in termične lastnosti. Taka področja uporabe so avtomobilska elektronika, telekomunikacije ter vojaška, letalska in vesoljska elektronika. Poleg tega je debeloplastna tehnologija ena izmed prevladujočih tehnologij za izdelavo senzorjev in/ali pripadajoče elektronike za obdelavo senzorskega signala.

Trg hibridnih debeloplastnih vezij

Svetovni trg

Obseg svetovnega trga hibridne mikroelektronike je leta 1997 znašal približno 6,5 milijard dolarjev z 2,8% letno rastjo /2,3/. Približno 90% tega trga pripada debeloplastni tehnologiji ostalo pa tankoplastni, Regionalna razdelitev trga je prikazana na sliki 6. Največji delež, 2,8 milijard dolarjev, je leta 1997 pripadal združenju NAFTA.



Slika 6: Regionalna razdelitev svetovnega trga hibridne mikroelektronike v letu 1997.

Sledita mu Azija s 2,6 milijard dolarjev in Evropa 1,1 milijard dolarjev.

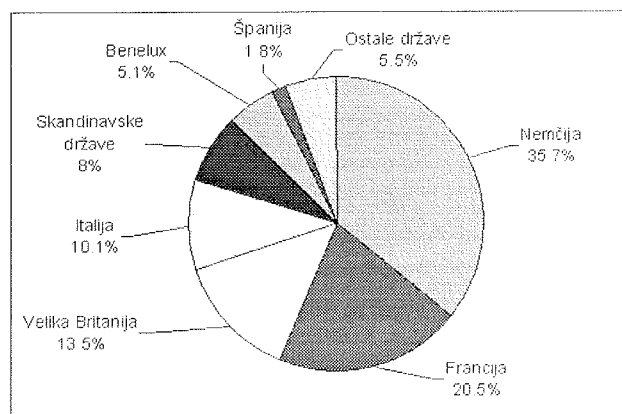
V Tabeli 1 pa je prikazan tržni delež največjih svetovnih proizvajalcev hibridnih vezij in države v katerih so sedeži družb. Očitno je, da so največje svetovne proizvajalke hibridnih vezij družbe s sedežem na Japonskem. Prva večja ne-japonska družba je M-MAC s sedežem v Kanadi. Medtem, ko ima največji evropski proizvajalec Bosch manj kot 2% svetovnega deleža.

Tabela 1: Tržni deleži največjih svetovnih proizvajalcev hibridnih vezij

Družba	Država	Delež
Sanyo	Japonska	3,0%
Hitachi	Japonska	2,8%
Mitsubishi	Japonska	2,7%
Sanken	Japonska	2,6%
Rohm	Japonska	2,5%
NEC	Japonska	2,5%
M-MAC	Kanada	2,4%
Fujitsu	Japonska	2,0%
Bosch	Nemčija	1,9%
Philips	Nemčija	1,4%
Teledyne	ZDA	1,2%

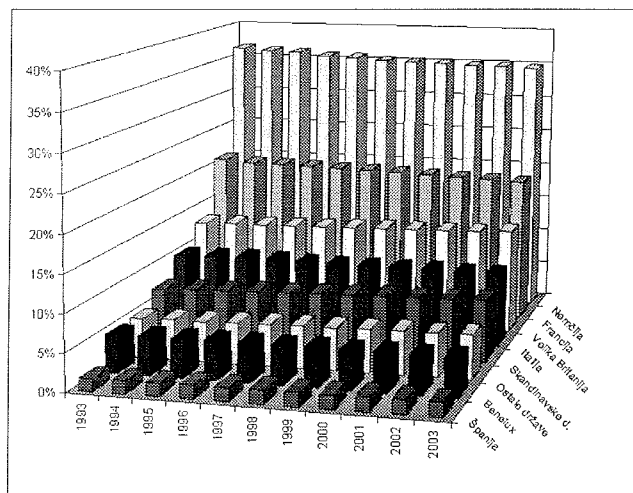
Evropski trg

Obseg evropskega trga hibridne mikroelektronike je leta 1997 znašal približno 1,1 milijard dolarjev s povprečno 2,3% letno rastjo /2,3,4,5,6/. Na sliki 7 so prikazani deleži posameznih držav, ki imajo več kot 2% delež trga. Vidimo, da več kakor tretjina trga pripada Nemčiji, sledijo ji pa Francija, Velika Britanija, Italija, Skandinavske države skupaj, Benelux in Španija. Na ostale evropske države skupaj pa odpade nekaj več kot 5% celotnega evropskega trga. Gibanje in trendi tržnih deležev v odstotkih po državah so prikazani na sliki 8. Večje spremembe se niso dogajale in tudi niso predvidene.



Slika 7: Razdelitev evropskega trga hibridne mikroelektronike v letu 1997 po državah.

Države, ki imajo večje tržne deleže bodo zgubile nekaj odstotkov na račun držav, ki imajo manjše deleže.



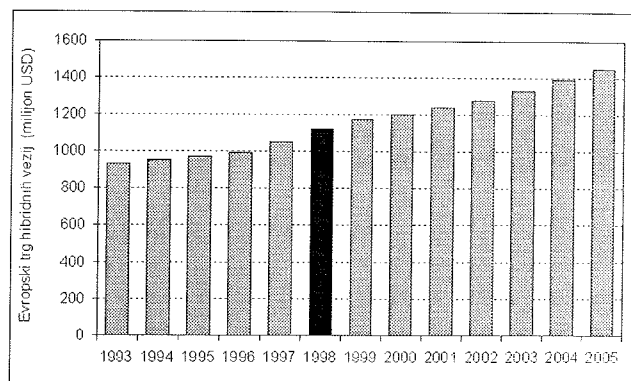
Slika 8: Trendi tržnih deležev hibridne mikroelektronike v Evropi po državah.

Tabela 2: Tržni deleži največjih evropskih proizvajalcev hibridnih vezij

Družba	Tržni delež
Bosch	11,3%
Philips	7,2%
Thomson	4,9%
AB Microelectronics	4,6%
Alcatel	3,1%
Roederstain	3,0%
Siemens	2,9%
MSE	2,0%
Ostali (<2%)	61,0%

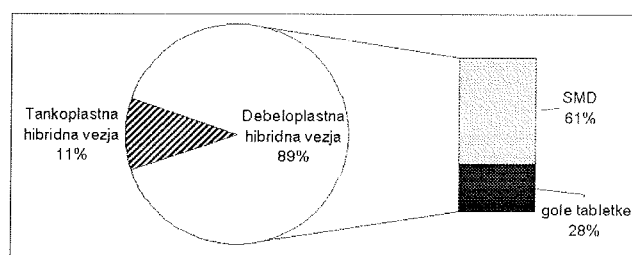
V Tabeli 2 so naštet največji evropski proizvajalci hibridnih vezij in njihov tržni delež. Izrazito velik tržni delež ima družba Bosch, ki mu delno sledi Philips. Za njima je skupina proizvajalcev z tržnim deležem od 2 do 5 odstotka. Velika večina evropskih proizvajalcev je manjših s posameznim tržnim deležem pod 2%. To so: Aspo-comp, Aurel, C-MAC, Electromag, Ericsson, Fujitsu, Hybrid electronic, Marelli, Microdul, Mitsubishi, Nokia, Quintenz, Siegert, Telecontrolli,...). Značilno za večino proizvajalcev hibridnih vezij je, da je njihov trg praviloma notranji trg. To pomeni, da so praviloma del večjih družb, ki hibridna vezja naprej vgrajujejo v svoje izdelke in šele z njimi prihajajo na trg.

Celotni evropski trg hibridne mikroelektronike, analiziran leta 1998, je prikazan na sliki 9 /5/. Leta 1993 je ta trg znašal 930 milijonov dolarjev in se je do leta 1998 povečal za 20%. Do leta 2005 pa je predvideno povečanje še dodatnih 30%.

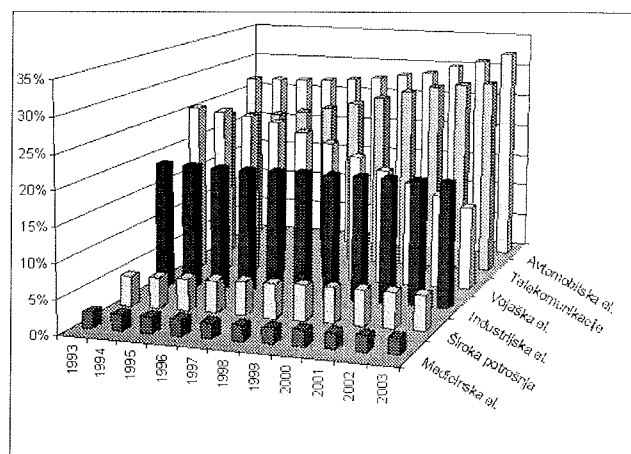


Slika 9: Rast evropskega trga hibridne mikroelektronike po letih.

Tržna analiza obsega debeloplastna in tankoplastna hibridna vezja. Debeloplastna so razdeljena še na hibridna vezja s SMD komponentami in na hibridna vezja z golimi tabletkami (ta segment vsebuje tudi t.i. keramične multičip module MCM-C). Njihovi deleži v letu 1997 so prikazani na sliki 10. V prihodnosti se spreminjanje razmerij med debeloplastnimi in tankoplastnimi hibridnimi vezji ne pričakuje. Do leta 2005 pa se pričakuje povečanje deleža debeloplastnih hibridnih vezij z golimi tabletkami (predvsem MCM-C) do 15 odstotkov na račun tistih s SMD komponentami.



Slika 10: Deleži trga hibridne mikroelektronike po tehnologijah v letu 1997.



Slika 11: Deleži trga hibridne mikroelektronike po področjih uporabe.

Glede na področje uporabe hibridnih vezij je največji tržni delež v avtomobilski elektroniki. Sledijo ji področja telekomunikacije, industrijske elektronike in področja vojaške, letalske in vesoljske elektronike. Spremembe tržnih deležev v letih od 1993 do 2003 so prikazani na sliki 11. Večje spremembe tržnih deležev se dogajajo predvsem v avtomobilski elektroniki (od 26% na 33%) in telekomunikacijah (od 23% na 30%), kjer deleži rastejo. Medtem ko pada delež, ki ga zavzema področje vojaške, letalske in vesoljske elektronike (od 25% na 12%), pa imajo področja industrijske elektronike (19%), široke potrošnje (5%) in medicinske elektronike (2,5%) relativno stabilne tržne deleže.

Tehnološki trendi

Tehnološke trende, ki se dogajajo na področju hibridne debeloplastne tehnologije lahko razdelimo na področje same tehnologije, novih elektronskih komponent, aplikacij hibridnih vezij in ostalo.

Trendi na področju tehnologije

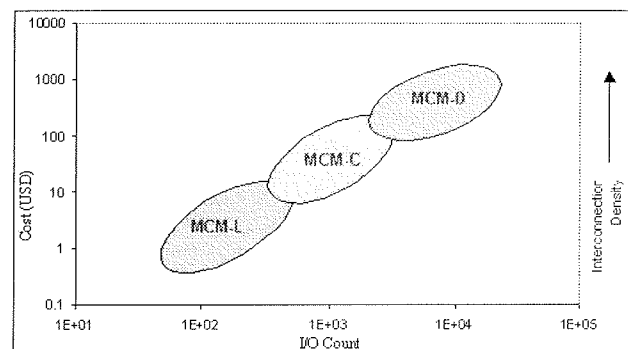
Največje spremembe je hibridna debeloplastna tehnologija doživela na področju tehnologije povezo-vanja. Spremembe so nastale zaradi zahtev naročnikov po večanju gostote povezav, manjši teži, miniaturizaciji, enaki ali boljši kvaliteti ter nižji ceni [7, 8].

Tabela 3: Primerjava osnovnih lastnosti tehnologij za izdelavo multičip modulov (MCM)

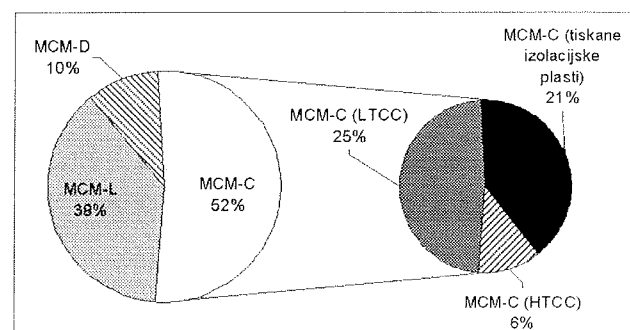
MCM-D	
Prednosti	Slabosti
- sotelek TCE s silicijem - velika gostota	- visoka cena
MCM-L	
Prednosti	Slabosti
- nizka cena - večje dimenzije	- TCE ni skladen s silicijem - nizka zgornja meja tempera. delovanja
MCM-C	
Prednosti	Slabosti
- delovanje v zahtevnem okolju - dovolj dober sotelek TCE s silicijem - uporaba tudi pri višjih temperaturah - nižja cena od MCM-D	- omejene dimenzije

Za povezovanja visokih gostot so posebej primerni t.i. multičip moduli (MCM), ki so lahko izdelani v različnih tehnologijah: tankoplastni na silicijevem substratu (MCM-D), tiskana vezja na laminatu (MCM-L) in debeloplastni na keramičnem substratu (MCM-C). Osnovne prednosti in slabosti omenjenih tehnologij so prikazane v tabeli 3, komercialno tehnična razmerja pa na sliki 12. Razdelitev trga multičip modulov po tehnologijah je prikazana na sliki 13. Ta razdelitev je narejena po

vrednosti trga. Če bi bila narejena po količini izdelkov, bi bila razmerja drugačna. Svetovni trg MCM je leta 1998 znašal 600 milijonov dolarjev in naj bi leta 2001 dosegel 840 milijonov dolarjev. Keramični multičip moduli (MCM-C) skupaj zavzemajo približno 52% delež [3].



Slika 12: Komericalno tehnični položaj multičip modulov (MCM) po tehnologijah.



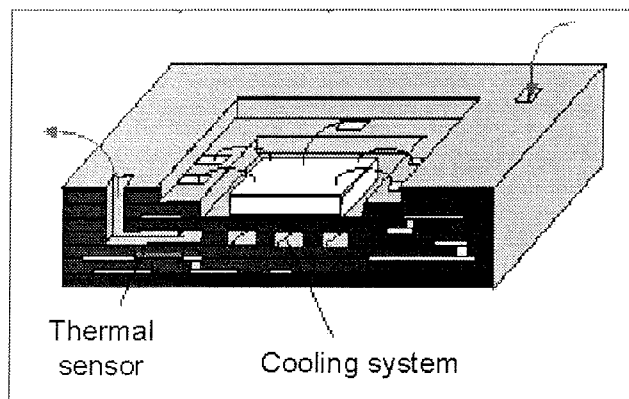
Slika 13: Vrednostni tržni deleži multičip modulov (MCM) po tehnologijah.

Keramični multičip moduli so sestavljeni iz večplastnega povezovalnega vezja in različnih diskretnih elektronskih komponent. Povezovalno vezje običajno vsebuje tudi integrirane pasivne elektronske komponente. Glede tehnologije izdelave povezovalnega vezja obstaja več vrst MCM-C. To so:

- LTCC - Low-Temperature Cofired Ceramic (Izolacijske plasti so izdelane iz keramičnih folij, ki se žgejo pri temperaturi 850°C)
- HTCC - High-Temperature Cofired Ceramic (Izolacijske plasti so izdelane iz keramičnih folij, ki se žgejo pri temperaturi okoli 1350°C)
- Tiskani (Izolacijske plasti so tiskane. Pri tem se uporabljajo različne tehnologije, kot so standardna debeloplastna, tehnologija difuzijskega oz. kemičnega oblikovanja in/ali foto-oblikovanje)

Največji delež keramičnih multičip modulov zavzema LTCC tehnologija. Fleksibilnost te tehnologije omogoča njeno uporabo ne samo v mikroelektroniki temveč tudi na drugih mikrotehnikah, kot so mikromehanika, mi-

krosenzorika, mikroaktorika, mikrofluidika in mikro-optika /9/. Na sliki 14 je prikazan detajl vezja, ki vsebuje poleg bondirane gole silicijeve tabletki še hladilni sistem s kanali in temperaturnim senzorjem, ki so integrirani v večplastni keramični strukturi.



Slika 14: LTCC tehnologija /9/. Detajl vezja z bondirano tabletko in integriranim hladilnim sistemom.

Poleg novih tehnologij povezovanja vpliva na razvoj hibridne debeloplastne tehnologije tudi razmah visokofrekvenčnih in močnostnih aplikacij.

Velika tržna rast mobilne telefonije in znatna rast trga telekomunikacij je vplivala na porast aplikacij hibridnih vezij tudi na visokofrekvenčnem področju. Debeloplastna tehnologija zaradi cenenosti in novih tehnologij (kot je foto-oblikovanje prevodnih linij) deloma prevzema to področje od tankoplastne tehnologije.

Močnostne aplikacije hibridnih debeloplastnih vezij, predvsem v avtomobilski elektroniki, narekujejo čim boljše toplotno prevodnost substrata, čim boljše toplotno prevodnost spoja komponenta/substrat in tudi substrat/ohišje ter čim boljše električno prevodnost prevodnih plasti. V ta nam so različni proizvajalci razvili kar nekaj tehnologij, ki imajo osnovo v debeloplastni tehnologiji.

Nove elektronske komponente

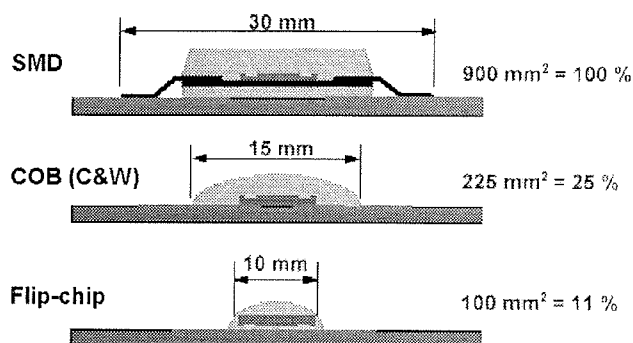
Diskretne elektronske komponente oz. čipi (integrirana monolitna vezja, pasivni elementi, polprevodniški elementi, itd) pomembno vplivajo na tehnologijo izdelave hibridnih vezij. Vplivni so predvsem parametri, kot so stopnja in vrsta integracije pri integriranih vezjih ter oblika (velikost) in način pritrdjevanja čipov. Trenutno so najbolj uporabljane tehnologije za pritrdjevanje in povezovanje diskretnih komponent sledeče: SMT (surface mounted technology) in bondiranje z zlato ali aluminijasto žičko. Razvoj pa gre v smeri sledečega zaporedja: flip-chip, BGA (ball grid array), CSP (chip scale package) in DCA (direct chip attachment). V tabeli 4 so prikazani svetovni tržni deleži (v milijardah kosov) integriranih vezij različnih ohlišj za leto 1997 in predvidevanja za leto 2002 in leto 2007 /10/. V prvi skupini so komponente z žičkami, v drugi so komponente za površinsko montažo, v tretji skupini pa so komponente v modernih ohlišjih.

Tabela 4: Svetovni tržni deleži in trendi integriranih vezij glede na različna ohišja (v milijardah kosov)

	1997	2002	2007
DIP	15,9	11,5	6,7
SIP	3,9	3,1	2,7
PGA	0,4	0,6	0,5
Ostali	0,4	0,6	0,8
Skupaj komp. z žičkami	20,6	15,8	10,7
SO	20,8	36,4	51,1
PLCC	2,3	1,4	0,6
PQFP	7,9	17,8	20,8
SMD keramika	0,2	0,3	0,3
BGA	0,2	1,3	2,2
TAB	0,9	1,6	1,9
Ostali SMD	1,0	2,1	3,4
Skupaj SMD komp.	33,3	60,9	80,3
CSP	0,1	1,5	6,5
COB	3,6	6,3	13,1
Flip chip	0,6	3,3	8,3
Skupaj moderne komp.	4,3	11,1	27,9
Vsa integ. vezja skupaj	58,2	87,8	118,9

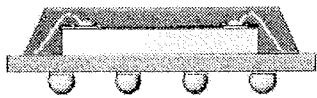
Na sliki 15 je prikazana primerjava uporabe istega integriranega vezja z različnimi tehnologijami pritrdjevanja na substrat. Vidimo, da bondiranje golih silicijevih tabletk z zlato ali aluminijasto žičko zmanjša potrebno površino na četrtno, uporaba flip-chip tehnologije pa na dobro desetino površine, ki je potrebna za integrirano vezje v SMD ohišju.

Delo z golimi silicijevimi tabletkami in flip-chip komponentami zahteva poseben način dela glede delovnega okolja in glede opreme. Zato se vedno bolj uveljavlja ohišje CSP (chip scale package), ki je prikazano na sliki



Slika 15: Primerjava različnih tehnologij pritrdjevanja elektronskih komponent.

16. Po definiciji komponente naj bi bila velikost ohišja samo 20% večja od gole silicijeve tabletki. Ker je gola silicijeva tabletki zaščitena se lahko komponenta uporablja kot ostale elektronske komponente za spajkanje. Spajka v obliki kroglic je že prisotna na priključkih na spodnji strani komponente. Priključki oz. kroglice so običajno razporejene v več vrstah. Razvoj tehnologije pa gre v smer uBGA (mikro Ball Grid Array).



Definicija:
$$\frac{\text{površina čipa}}{\text{površina ohišja}} \geq 80\%$$

Slika 16: Integrirano vezje v ohišju CSP (chip scale package) /10/.

Trendi po področjih uporabe

Že analiza trga hibridne mikroelektronike po področjih uporabe kaže, da se nekatera področja bolj razvijajo, nekatera pa celo nazadujejo. Ti procesi vplivajo tudi na razvoj tehnologije hibridne mikroelektronike po posameznih področjih.

Avtomobilska elektronika

Avtomobilska elektronika je zahtevna elektronika in predstavlja motor pri razvoju tehnologij. Zahteve avtomobilске elektronike so: visoka zanesljivost, vezja srednje oz. velike moči, srednje število priključkov, velikokrat je zahtevana integracija senzorjev, pogosta zahteva po mehatronski združljivosti, izrazita zahteva po elektromagnetni združljivosti, nizka cena in proizvodnja velikega obsega. Debeloplastna tehnologija je primerna za omenjene zahteve.

Hibridna mikroelektronika bo ohranila svoj delež tako v elektroniki za varnost in pogon kakor tudi v najbolj zahtevnem okolju motorja. Poleg te uporabe bo prišlo tudi do decentralizacije in medsebojnega povezovanja elektronike, zaradi česar bo narasla uporaba hibridnih vezij v celoti.

Razvoj bo šel v smeri zmanjševanja števila tehnoloških procesov, zaradi zniževanja cene se bo zamenjala prevodna pasta Ag/Pd (3:1) s pasto, ki ima razmerje 5:1 ali celo 6:1, začela se bo masovna proizvodnja LTCC vezij, ki bodo imela integrirane pasivne elektronske komponente.

Telekomunikacije

Digitalizacija komutacijskih sistemov v osemdesetih letih je povzročila padec uporabe hibridnih vezij na področju telekomunikacij. Velika rast mobilne telefonije zadnjih let je vplivala na porast aplikacij hibridnih vezij tudi na visokofrekvenčnem področju v telekomunikacijah.

Razvoj bo šel v smeri uporabe cenejših LTCC ali difuzijsko oblikovanih vezij ter foto-občutljive paste za prevodnike pri visokofrekvenčnih aplikacijah. Nadaljeval se bo trend za izboljšanje lastnosti in zmanjšanje cene zaščitnih uporov. Uporabljala se bodo močnostna vezja, kot na primer DC/DC pretvorniki. Uporabljati se bo začela

srebrna prevodna pasta in kvalitetnejše debeloplastne uporabne paste.

Vojaška, letalska in vesoljska elektronika

Padec tržnega deleža na področju vojaške, letalske in vesoljske elektronike pripisujejo programu COTS (Commercial off the shelf), ki ga je iniciral leta 1994 takratni obrambni minister ZDA dr. William Perry. Cilj programa je bil vključiti komercialne izdelke tudi v vojaško elektroniko. Tako to področje uporabe izgublja svoj obseg, saj se naj bi več uporabljali komercialni izdelki, ki pa so deležni še dodatnih testiranj in običajno zapiranja v hermetično ohišje.

Industrijska elektronika

Hibridna vezja bodo imela še vedno pomembno mesto na področju senzorjev in aktuatorjev, kadar ti zahtevajo uporabo analognih vezij. Hibridna vezja za obdelavo signalov pa bodo delno nadomestila ASIC vezja. Področje senzorjev in robotike odpira nove možnosti za razvoj hibridnih vezij v industrijski elektroniki. Na splošno se stanje v merilni, krmilni in varnostni tehniki ne bo spremenilo.

Elektronika za široko potrošnjo

Elektronika za široko potrošnjo nikoli ni bila pomemben tržni segment za hibridna vezja. Na tem področju so se potreba po hibridnih vezjih drastično zmanjšala v osemdesetih letih, ko se je pojavila tehnologija DMD komponent na tiskanih vezjih.

Medicinska elektronika

V medicinski elektroniki se razlogi za uporabo hibridnih vezij ne bodo spremenili. Na eni strani so visoko zahtevna vezja za različne "implante" (npr. vzbujevalnik srčnega ritma); na drugi strani pa so vezja v raznih napravah in pripomočkih za uporabo v bolnicah in ostalih zdravstvenih ustanovah (npr. različni senzori).

Senzorji in senzorske tehnologije

Poseben pomen za napredek na področju senzorjev ima razvoj novih tehnologij, kot sta mikromehanika in mikroelektronika, združena v MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems). Kljub pospešenemu razvoju mikrosistemske tehnike, ki predstavlja integracijo številnih področij, kot so senzorika, aktorika, mikroperiferika, mikromehanika, integrirana optika itd., so prevladujoče tehnologije za izdelavo senzorjev in pripadajoče elektronike še vedno monolitne polprevodniške tehnologije ter tankoplastna in debeloplastna tehnologija.

Monolitne polprevodniške tehnologije imajo izrazito prednost v integraciji, miniaturizaciji in velikoserijski proizvodnji, ki omogoča nižjo ceno standardnih izdelkov.

Hibridna debeloplastna tehnologija ima prednost zaradi razvojne fleksibilnosti, ugodnih termičnih in mehanskih lastnosti keramičnega substrata, robustnost, možnost izdelave debeloplastnih senzorskih materialov za različne fizikalne in kemijske veličine, možnosti funkcionalnega doravnavanja pri različnih kompenzacijah ter cenenost proizvodnje pri manjših serijah. Hibridna debeloplastna tehnologija lahko pri izdelavi senzorjev nastopa v dveh vlogah. Prva je izdelava debeloplastnega senzorskega elementa. Druga vloga pa je integriranje senzorskega elementa, ki običajno ni debelopla-

sten (npr. silicijev piezoupornostni senzor tlaka), skupaj s kompenzacijskimi elementi in elektroniko za obdelavo električnega signala.

Ostali trendi

Na razvoj hibridne debeloplastne tehnologije vplivajo tudi nekatere splošne zahteve, kot so kvaliteta in zanesljivost delovanja izdelka, potreben hiter komercialni odziv, ekološke zahteve, dogajanja na trgu surovin, itd.

Kvaliteta in zanesljivost delovanja

Zaradi tržnih usmeritev hibridne mikroelektronike v zahtevnejše pogoje delovanja sta pojma kvaliteta izdelka in zanesljivost delovanja dobila še večji pomen. Z vidika kvalitete izdelka in zanesljivosti delovanja se natančno proučujejo tako posamezni gradniki hibridne mikroelektronike, posamezni detajli, kakor tudi celotni moduli ali celo sistemi. Parametri proučevanja so termo-električne, termo-mehanske, elektro-mehanske, topološke, elektronske funkcije, elementi elektromagnetne združljivosti, itd. Orodja in metode, ki se pri tem uporabljajo, pa so eksperimentiranje ter matematično modeliranje in računalniško simuliranje.

Komercialni odziv

Časi od naročila do izdelave prototipov in do prve proizvodne serije se krajšajo. Če je bil leta 1998 povprečen čas do prototipa 45 dni in dodatnih 15 dni do proizvodnje, bo leta 2009 ta čas 5 dni in dodatnih 5 dni. To naj bi veljalo za običajne izdelke, za zahtevnejše izdelke pa se bo čas skrajšal od 130 dni in dodatnih 74 dni na 50 dni in dodatnih 20 dni /7/. Zaradi zahtevane hitrosti odziva morajo biti proizvajalci na to pripravljeni. Obvladati morajo različna področja, tako da raziskujejo vnaprej oz. "na zalogo". Poleg tega morajo vključevati zunanje sodelavce in se povezovati s partnerji ter uporabljati različna računalniška simulacijska orodja, ki skrajšajo eksperimentiranje.

Ekološke zahteve

Ekološke zahteve tudi vplivajo na razvoj hibridne debeloplastne tehnologije. Ker se letno odvzame velike količine odpadne elektronske opreme, v Evropskem parlamentu uvajajo regulativo, ki bo urejala preventivno delovanje; zbiranje odpadkov; reciklažo odpadkov; izločanje nevarnih materialov in komponent iz novih izdelkov; zmanjšanje okolju neprijaznih snovi, ki se uporabljajo pri proizvodnji v elektronski industriji; ter harmonizacijo meril v državah Evropske zveze. Okolju neprijazni materiali, ki se še vedno uporabljajo v "elektroniki" so: živo srebro, kadmij, svinec, krom VI in nekatere sestavine plastičnih materialov. Velik "pretres" v celotni elektronski industriji bo gotovo nastal ob zamenjavi obstoječe spajke, ki vsebuje svinec, s tako brez svinca. Zaradi zahtevnost in obširnosti projekta so napovedan rok prepovedi uporabe spajk s svincom predstavili s 1.1. leta 2004 na 1.1. leta 2008.

Vpliv surovin

Dogajanja na trgu surovin, ki se uporabljajo v debeloplastni tehnologiji (paladij, srebro, platina, zlato, ...) tudi vplivajo na razvoj hibridne debeloplastne tehnologije. Najbolj drastični primer je cena paladija, ki je osnova prevodnih past, in je zrasla od 4 dolarjev za gram

leta 1997 na 28 dolarjev za gram sredi leta 2000. Zaradi omenjenega se vse pogostejše uporabljajo debeloplastne prevodne paste na osnovi srebra oz. paste na osnovi paladij-srebra z vse večjim deležem srebra.

Možne strategije delovanja

Strategija delovanja na področju hibridne mikroelektronike je, kakor na drugih področjih, odvisna od mnogoterih dejavnikov. Glede na prej naštetih tehnološke in tržne spremembe in trende ter glede na velikost in okolje v katerem deluje, ima lahko proizvajalec hibridnih vezij sledeče strategije delovanja:

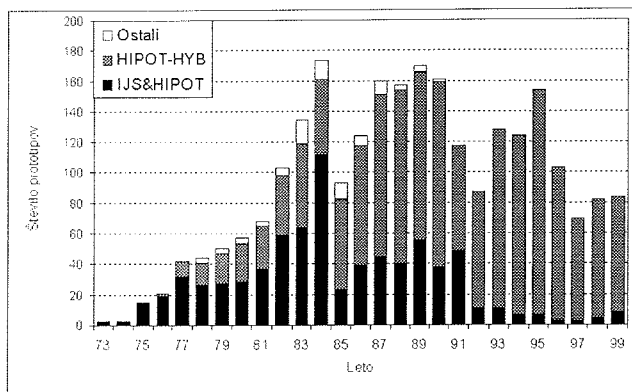
- Strategija masovne produkcije temelji na nizki ceni izdelka.
- Inovativna strategija temelji na hitrem in širokem obvladovanju novih tehnologij.
- Strategija kvalitetnih izdelkov je možna, če obstajajo zahtevnejši naročniki.
- Strategija ponudbe širokega spektra izdelkov lahko v nekem okolju predstavlja prednost, ker je večina izdelovalcev zožilo ponudbo.
- Strategija različnosti izdelkov je zelo razširjena. Pomeni, da poleg tehnologije hibridnih debeloplastnih vezij proizvajalec ponuja tudi druge sorodne tehnologije. Najpogostejše je to tehnologija tiskanih vezij ali/in tankoplastna tehnologija.
- Strategija servisa za naročnika je možna, če je sklenjena dolgoročna pogodba s strateškim naročnikom.
- Strategija tržne niše je primerna za manjše proizvajalce, ki se specializirajo za nek izdelek ali tehnologijo. Preozka specializacija pa je lahko tvegana.
- Strategija dela za večjega partnerja je zadnje čase pogosta pri manjših proizvajalcih. Ti običajno za večjega proizvajalca hibridnih vezij izdelujejo en ali nekaj izdelkov. V takih primerih je običajno razvojno-raziskovalno delo in trženje v popolni domeni naročnika.

Kombinacije nekaterih zgoraj naštetih strategij so možne, nekatere pa se izključujejo.

Dogajanje na področju hibridne debeloplastne tehnologije v Sloveniji

Začetki hibridne debeloplastne tehnologije v Sloveniji segajo v leto 1968, torej nekaj let po rojstvu te tehnologije v svetu, ko se je družba Iskra odločila, da bo osvojila to tehnologijo. Razvoj tehnologije so zaupali Institutu "Jožef Stefan" kjer so leta 1972 ustanovili mešano raziskovalno razvojno skupino v okviru Odseka za keramiko. Leta 1973 je podjetje Iskra Elementi predalo iniciativo svoji hčerinski firmi Iskra IEZE Uporovni elementi (kasneje Iskra IEZE HIPOT in sedaj HIPOT-HYB) iz Šentjerneja. Trenutno v Sloveniji proizvaja hibridna debeloplastna vezja družba HIPOT-HYB in delno tudi družba Iskra Avtoelektrika, ki na že izdelanem debeloplastnem vezju nadaljuje izdelavo hibridnega vezja. Poleg omenjenih institucij so se, praviloma v fazi razvoja, s hibridno debeloplastno mikroelektroniko ukvarjali tudi večji naročniki hibridnih vezij. To so bili predvsem podjetja družbe Iskra, kot so Iskra Telekomunikacije (sedaj Iskratel), Iskra Avtomatika (sedaj Iskra SYSEN),

Iskra Elektrozveze, itd. Sodelovali so tudi naročniki iz tujine, kot so IRET iz Italije in nekaj firm iz Nemčije. Do konca leta 1999 je bilo v tem okvirju razvitih nekaj čez 2500 prototipov hibridnih vezij. Razporeditev teh prototipov v posameznem letu pa je prikazana na sliki 17.



Slika 17: Število prototipov hibridnih vezij na leto.

Analiza podatkov na sliki 17 ponuja tri komentarje:

- Na diagramu vidimo nihanje števila prototipov. Prva dolina leta 1985 je nastala zaradi izpada naročnika iz tujine. Druga dolina leta 1991 in 1992 je nastala zaradi razpada Jugoslovanskega trga. Tretja dolina leta 1997 pa predstavlja zaključek večjega projekta.
- V osemdesetih letih so sodelovali pri razvoju prototipov tudi nekateri naročniki. Običajno so izdelali načrt hibridnega vezja. Procesiranje in izdelava prototipov pa je bila na Institutu "Jožef Stefan".
- V začetku devetdesetih let se je začel industrijski partner reorganizirati, tako da je prevzemal večino razvojnega dela in prepuščal mešani raziskovalno-razvojni skupini le raziskovalno delo in zahtevnejše razvojno delo. Reorganizacija je nastala zaradi spremenjenih pogojev poslovanja in zaradi priprav na standard ISO 9001, ki je bil pridobljen leta 1993.

Trg hibridnih vezij v Sloveniji

Trg hibridnih vezij v Sloveniji je v primerjavi z evropskim majhen. V letu 1997 je bil obseg približno 6 milijona dolarjev, kar je le 0,5% evropskega trga. Letno se izdelata približno 2,5 milijona vezij, od katerih se 80% proda v tujino. Značaj trga hibridnih vezij v Sloveniji se je tekom let spreminjal zaradi različnih dejavnikov, kot so: spreminjanja tipa trga, tehnologij področje uporabe, geostrateških pogojev, tranzicije, itd. Vsi naštetih dejavniki so običajno soodvisni in vplivajo hkrati.

Sprememba tipa trga:

Skozi osemdeseta leta se je trg hibridnih vezij v Sloveniji počasi spreminjal iz notranjega trga za družbo Iskra v odprti trg za zunanje naročnike. Ta sprememba je nastala predvsem zaradi premajhnega notranjega trga in v povezavi z ostalimi spodaj naštetimi spremembami.

Spremembe zaradi tehnologije:

Razvoj konkurenčnih tehnologij ima stalen vpliv na trg elektronskih tehnologij, tako tudi na trg hibridnih vezij v Sloveniji. Največja sprememba je nastala konec osem-

desetih let, ko je SMD tehnologija na tiskanih vezjih prevzela precejšen del trga od hibridne debeloplastne tehnologije. Tipična sprememba, ki je nastala zaradi nove tehnologije, je digitalizacija komutacijskih sistemov v osemdesetih letih na področju telekomunikacij.

Sprememba področij uporabe:

Skozi leta proizvodnja hibridnih vezij v Sloveniji so se področja uporabe počasi spreminjala. V sedemdesetih letih in v začetku osemdesetih je bilo največje področje uporabe telekomunikacije, ki so mu sledila industrijska elektronika in elektronika za široko potrošnjo. V drugi polovici devetdesetih let je največji delež pripadal medicinski elektroniki (senzoriki), sledila pa so področja industrijske elektronike, telekomunikacij, avtomobilske elektronike in elektronike za široko potrošnjo. Trenutno ima največjo rast ravno področje medicinske elektronike (senzorike), sledita mu pa področji industrijske elektronike in avtomobilske elektronike.

Spremembe zaradi geostrateških pogojev:

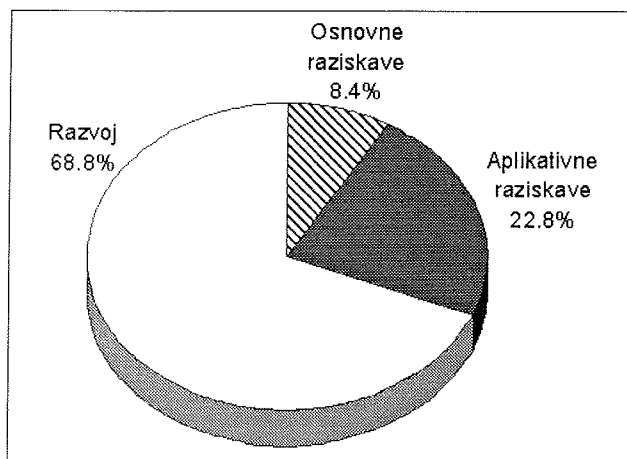
Značaj hibridne debeloplastne tehnologije zahteva tesno sodelovanje med naročnikom, načrtovalcem in proizvajalcem. Zato je bilo kvalitetno sodelovanje geografsko omejeno na radij do 500 km. Z globalizacijo svetovne ekonomije in z razvojem elektronskih komunikacij je ta geografska omejitev izgubila na pomenu. Dodatna pomembna sprememba, ki jo drugi proizvajalci niso imeli, pa je nastala leta 1991 po razpadu Jugoslavije, ko je prišlo neposredno ali posredno do 40% izgube trgov. Obnovitev obsega proizvodnje in iskanje novih trgov je trajalo kar nekaj let.

Raziskovalno-razvojna dejavnost na področju hibridnih vezij v Sloveniji

Raziskovalno razvojna (RR) dejavnost na področju hibridnih vezij v Sloveniji je organizirana v družbi HIPOT in na Institutu "Jožef Stefan". Obe instituciji že vrsto let tesno sodelujeta skozi mešano raziskovalno-razvojno skupino locirano na Odseku za keramiko Instituta "Jožef Stefan". Hkrati pa je razvito sodelovanje s tehnologiji industrijskega partnerja HIPOT-HYB. Tesno sodelovanje med raziskovalci, razvojniki in tehnologiji, poznavanje raziskovalnih zmožnosti in hkrati industrijskih problemov, omogoča mehak tehnološki transfer med raziskovalno sfero in industrijo. Na osnovi omenjenega je mogoče pripraviti kvalitetne raziskovalne in razvojne projekte, jih organizirati in izvajati z uigranimi projektnimi timi. Tako je razvito projektno sodelovanje z različnimi znanstveno raziskovalnimi institucijami doma in v tujini. Ravno tako razvojni oddelek v HIPOT-HYB sodeluje z razvojnimi oz. tehnično-komercialnimi subjekti doma in v tujini.

Raznovrstnost problematike v hibridni debeloplastni tehnologiji zahteva interdisciplinarni značaj RR dejavnosti. Pomembna področja so: elektronika, znanost o materialih, keramične tehnologije, področja iz fizike in kemije, načrtovanje vezij, in ne nazadnje znanja s področja zagotavljanja kvalitete in produktivnosti. Pomembna panoga RR dela je tudi senzorika, to zato, ker je strateška usmeritev industrijskega partnerja HIPOT-HYB poleg proizvodnje hibridnih vezij tudi proizvodnja senzorjev tlaka. Na zgoraj naštetih področjih so potre-

bne različne kategorije raziskovalnega dela in sicer od osnovnih (temeljnih) raziskav preko aplikativnih (uporabnih) raziskave do razvojnega dela. Ta statistična razdelitev RR dejavnosti je prikazana na sliki 18 /11/.



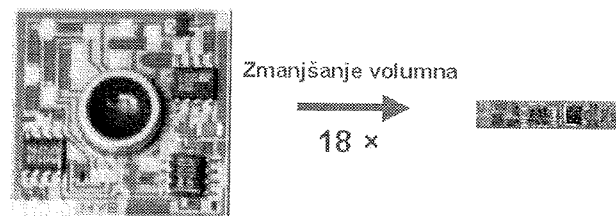
Slika 18: Razdelitev RR dejavnosti na področju hibridne debeloplastne tehnologije.

Največji delež RR dela zavzema razvojni segment (68,8%), ki je pomemben za tekoče delo družbe. Za večje projekte in za dolgoročne cilje RR dela pa sta ravno tako pomembna segmenta aplikativnih raziskav (22,8%) in osnovnih raziskav (8,4%). Segment aplikativnih raziskav se celo poveča na 28,7%, če v statistično analizo vključimo poleg hibridne tehnologije tudi senzoriko.

Relativno raznovrstnost RR dela lahko v polni meri izpeljejo le večji proizvajalci hibridnih vezij ali taki, ki jim je to temeljno poslanstvo (glej poglavje Možne strategije delovanja). Manjši proizvajalci si to lahko privoščijo le, če je njihovo RR delo subvencionirano s strani države ali Evropske zveze. V nasprotnem primeru si poiščejo drugačno strategijo npr. ozko usmerjenost ali delo za večjega partnerja. V državah Evropske zveze imajo to rešeno tako, da države podpirajo raziskovalno delo inštitutov in univerz, ki je usmerjeno v podporo gospodarstva. Veliko vzhodno-evropskih proizvajalcev hibridnih vezij, ki je preživelo tranzicijo, pa je izgubilo samostojnost in sedaj delajo za večje družbe z zahoda. Slovenski proizvajalec hibridnih vezij HIPOT-HYB spada v kategorijo majhnih oz. srednjih podjetij in je še v slovenski lasti. Zato je za njegovo samostojnost pomembno, da država podpira raziskovalno dejavnost javnih raziskovalnih institucij na področju hibridne debeloplastne tehnologije in senzorike.

Ilustrativen primer

Za boljše razumevanje razvoja hibridne debeloplastne tehnologije je ilustrativen primer izdelka na sliki 19. Na sliki sta prikazana dva senzorja tlaka s podobnimi lastnostmi. Prvi je bil razvit leta 1995 s konvencionalno debeloplastno tehnologijo in s površinsko montažo komponent, drugi pa je bil razvit leta 1999 z novimi tehnologijami.



Slika 19: Primerjava senzorja tlaka razvitega leta 1995 na levi in razvitega leta 1999 na desni.

Izrazita miniaturizacija (18 krat) je bila izvedena z uporabo vrste različnih tehnoloških rešitev, ki so opisane v literaturi /12, 13, 14, 15, 16/. V kratkem so te tehnološke rešitve sledeče:

Senzorski element

V obeh primerih je silicijev piezoupornostni senzor tlaka uporabljen kot senzorski element le da je v miniaturi izvedbi merilni tlak "pripeljan" s spodnje strani. Taka uporaba senzorskega elementa je zahtevala poseben tehnološki pristop, ki pa ga je omogočilo sodelovanje (v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta) z Laboratorijem za mikrosenzorske strukture na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani

Elektronika za procesiranje senzorskega signala

Večji del elektronike za procesiranje senzorskega signala je izveden v posebnem integriranem vezju – ASIC (Application Specific Integrated Circuit). To vezje je nastalo v sodelovanju s firmo Analog Microelectronics iz Nemčije. Potrebno elektronsko znanje pa je nastajalo v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta.

Povezovalno vezje

Integracija in povezava elektronskih aktivnih in pasivnih komponent ter senzorskega elementa je bila izvedena v obliki keramičnega multičip modula (MCM-C). MCM-C modul je bil narejen z metodo difuzijskega oblikovanja. Ta nova metoda je bila razvita v sodelovanju z Odsekom za keramiko na Institutu "Jožef Stefan" v Ljubljani. Osvojitev te tehnologije je bil del mednarodnega projekta z devetimi udeleženci iz petih držav.

Miniaturni upori

Vezje vsebuje osem debeloplastnih uporov. Z uporabo standardnih pravil načrtovanja je minimalna potrebna površina 48mm². V našem primeru smo uporabili miniaturne debeloplastne upore, katerih skupna površina je 18mm². Uspešnost uporabe taki uporov je omogočila predhodna raziskava njihove kvalitete. Raziskava je bila izvedena v sodelovanju s partnerjem s Češke.

Mehanska konstrukcija

Mehanska konstrukcija in uporabljeni materiali skupaj z sestavnimi deli in miniaturnim ohišjem je nastala na osnovi eksperimentiranja in dolgoletnih izkušenj na tem področju. Pokazala pa se je potreba po poglobljenem raziskovalnem delu na tem področju, ki bi rezultiralo v uporabi računalniških simulacij mehanskih, termomehanskih in elektromehanskih lastnosti. To bi precej dvignilo kvaliteto in skrajšalo čas razvojnega dela.

Dobro poznavanje področja senzorjev tlaka

Dobro poznavanje trga in tehnologij na področju senzorjev tlaka in debeloplastne tehnologije pa je pravzaprav prvi pogoj za uspešnost prikazanega projekta. Tu je prišlo do izraza dobro sodelovanje s tehničnimi in komercialnimi sodelavci družbe HIPOT-HYB.

Vsi našeti tehnološki postopki so bili uporabljeni za izdelavo prototipov. Sedaj poteka naslednja faza t.i. optimizacija tehnoloških postopkov, ki se bo potem nadaljevala s prenosom v proizvodnjo.

Zaključek

Hibridna debeloplastna tehnologija se je danes zasedla na tistih področjih, kjer se zahteva sledeče:

- večja stopnja zanesljivosti delovanja
- boljšem odvajanju toplote (npr. močnostna vezja)
- mehanske in termo-mehanske lastnosti
- integracija po tehnologiji in funkciji različnih elektronskih komponent
- večja gostota funkcij
- zahtevnejših pogojev okolice
- izdelavi uporabnih vezij z ozkimi tolerancami uporov oziroma razmerij upornosti reda 0,1%
- pri vezjih, kjer je potreba po funkcionalnem doravnavanju
- ne nazadnje na področju senzorjev

Primerjava tehnoloških trendov elektronskih tehnologij kaže, da je hibridna debeloplastna tehnologija zrela tehnologija in da ima izglede za bodočnost. V svoji zgodovini je s svojo fleksibilnostjo vedno našla svoj prostor na trgu in dosega približno 2,8% letno rast v svetu.

Zahvale

Zahvaljujem se družbi HIPOT-HYB, d.o.o. Šentjernej, ki je dovolila objavo prispevka ter Ministrstvu za znanost in tehnologijo Republike Slovenije za sofinanciranje nekaterih projektov s področja hibridne debeloplastne tehnologije.

Zahvaljujem se tudi Marku Hrovatu iz Instituta Jožef Stefan in Božidarju Pavlinu iz HIPOT-HYB, d.o.o. za koristne informacije in diskusije pri pripravi prispevka.

Literatura

- /1/ Rao Tummala, SOP: Microelectronic Systems Packaging Technology For the 21st Century, Advancing Microelectronics, 1999, vol. 26, p.29-37
- /2/ Darko Belavič, Analiza tržišča za hibridna debeloplastna vezja, HIPOT-HYB, d.o.o., maj 1997
- /3/ Paolo Werle, Markt und Trends für Hybride / Mikromodule, Deutsche ISHM-Konferenz, 1998
- /4/ Frost&Sullivan, The European Market for Hybrid Circuit, 1997
- /5/ Nihal Sinnadurai, Microelectronics Market in Europe, Proc. 10th European Microelectronics Conference, Copenhagen, Denmark, 1995, p.403-406

- /6/ Die europäische Markt für Hybridschaltungen, Markt&Technik, No. 32, August 1999, p.15-17
- /7/ Rene E. Cote, Paul Van Loan, The IMAPS Ceramic Substrate and Interconnect Roadmap, Proc. 12th European Microelectronics & Packaging Conference, Harrogate, England, 1997, p.xxxiv-xl
- /8/ www.imaps.org/cii
- /9/ R. Bauer, L. Rebenklau, M. Luniak, K.J. Wolter, Mikro-technische Applikationen mit der Dickfilmtechnik, Deutsche ISHM-Konferenz, 1998
- /10/ Uwe Leers, Neue Materialien und Bauteile in der Surface Mount Technology, Deutsche IMAPS-Konferenz, 1999
- /11/ Darko Belavič, Research & development of thick-film hybrid microelectronics in Slovenia, Proc. XXIII Conference of the International Microelectronics and Packaging Society, IMAPS Poland'99, 1999, p.11-16
- /12/ Darko Belavič, Marko Hrovat, Marko Pavlin, High density thick film technology for sensor applications, Proc. 12th European Microelectronics & Packaging Conference, Harrogate, England, 1997, p.41-47
- /13/ Darko Belavič, Marko Hrovat, Marko Pavlin, Evaluation of diffusion patterning technology for thick-film multilayers, 23rd International Spring Seminar on Electronics Technology, Balatonfüred, Hungary, 2000, p.295-300.
- /14/ Marko Pavlin, Peter Luštek, Darko Belavič, Božidar Pavlin, Industrial pressure sensors: new trends in miniturisation, 23rd International Spring Seminar on Electronics Technology, Balatonfüred, Hungary, 2000, p.319-324.
- /15/ Ivan Lahne, Darko Belavič, Marina Santo-Zarnik, Marko Pavlin, Stojan Šoba, Slavko Gramc, Packaging aspects of pressure sensors, 23rd International Spring Seminar on Electronics Technology, Balatonfüred, Hungary, 2000, p.385-390
- /16/ D. Belavič, D. Ročak, J. Sikula, M. Hrovat, B. Koktavý, J. Pavelka, Investigation of a possible correlation between current noise and long-term stability of thick-film resistors, Proc. European Microelectronics, Packaging and Interconnection Symposium, Prague, Czech Republic, 2000, p.464-469

*Darko Belavič, uni.dipl.inž.el.
HIPOT, d.o.o.
c/o Institut "Jožef Stefan"
Jamova 39
1000 Ljubljana
Slovenija*

*Tel.: +386 1 4773 479
Fax: +386 1 4263 126
E-mail: darko.belavic@ijs.si*

Prispelo (Arrived): 23.8.00

Sprejeto (Accepted): 30.8.00