

1. Tehnologia de fabricare a cablajelor imprimate fără plumb (Lead-Free Design)

Plumbul este un material poluant, care se reintegrează greu în natură. De aceea se intenționează reducerea utilizării acestuia. Industria electronică este unul dintre utilizatori (are un consum de 10 % din cantitate totală utilizată anual pe glob, care este de 5 milioane de tone).

Plumbul se regăsește în principal în aliajul de lipit, care este aliaj SnPb. Astfel sunt utilizate anual 75 000 de tone de plumb pentru cablajele imprimate (PCB = printed circuit board).

Legislația în vigoare limitează utilizarea plumbului în electronică. În Europa sunt în vigoare următoarele legile:

– 2002/95/EC Restriction of use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (**RoHS**), adică "restricțiile de utilizare a anumitor substanțe periculoase în echipamentele electrice și electronice". Prezenta directivă interzice introducerea pe piața UE de noi echipamente electrice și electronice care depășesc nivelurile stabilite prin lege de:

- plumb,
- cadmiu,
- mercur,
- crom hexavalent,
- difenili polibrominați (PBB),
- substanțe anti-inflamabile pe bază de eteri difenil polibrominat.

Producătorii de aparatură electronică trebuie să înțeleagă cerințele directivei RoHS de a se asigura că produsele lor, precum și a componentelor acestora îndeplinesc condițiile impuse de directivă. Directiva RoHS a intrat în vigoare în UE și Marea Britanie la data de 1 iulie 2006.

– 2002/96/EC Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) stabilește criteriile pentru colectarea, tratarea, recircularea și regenerarea deșeurilor de echipamente electrice și electronice.

Standardele în vigoare, elaborate de IPC Designers Council Certification Center sunt standarde pentru proiectare avansată: IPC's PWB advanced Designer Certification. Aceste standarde sunt folosite în toată lumea pentru proiectarea, producerea și asamblarea PCB-urilor. Mai există și standardele elaborate de guvernele diverselor țări: NEN, ANSI, DIN, UNE (Spania), standarde europene IEC.

La fabricarea cablajelor imprimate (PCBA = PCB Assembly) întâlnim substanțele restricționate de lege în următoarele cazuri:

- Pb în aliajele de lipit;
- Pb în vârful pinilor componentelor;
- Pb în substanțele acoperitoare pentru suprafața PCB-ului;
- substanțe anti-inflamabile brominate în plastice (de la componente sau cabluri);
- Cd în comutatoare;
- Hg în comutatoare;
- Cr⁶ în părțile mecanice;

Ultimele patru cazuri au fost rezolvate relativ ușor de către producători prin folosirea de înlocuitori, fără a perturba tehnologia de fabricație a cablajului. Problema mai dificilă este înlocuirea plumbului. Aceasta afectează puternic tehnologia de fabricație, deoarece temperatura la care se realizează lipirea este, în general, mai ridicată cu 20-30 %.

Aliajele de lipit cu plumb se folosesc deoarece prezintă numeroase avantaje, cum ar fi:

– temperatura minimă de lipire la punctul eutectic, când compoziția aliajului este de 63 % Sn + 37 % Pb;

- rezistență mecanică bună a lipiturii;
- conductivitate electrică foarte bună;
- conductivitate termică foarte bună;
- aspect corespunzător al lipiturii (menisc concav cu unghi de umezire mic);
- caracteristici de oxidare bine-cunoscute.

Aliajele de lipit fără plumb ("lead-free solder alloys") care vor înlocui aliajele cu plumb folosite până în prezent trebuie să aibă următoarele proprietăți de bază:

- temperatură de topire cât de joasă posibil;
- proprietăți fizice cel puțin tot la fel de bune (fluiditate, tensiune superficială) ca și aliajele de SnPb;
- rezistență la șoc termic;
- să fie anti-corozive sau să se oxideze greu.

Alte cerințe:

- cost redus;
- să se găsească relativ ușor;
- să nu fie toxice.

Proprietăți necesare pentru o bună utilizare:

- să umezească bine suprafața și să se întindă bine;
- reactivitate minimă cu fluxurile;
- să formeze goluri interne cât mai puține la solidificare;
- să formeze cât mai puțin granule de aliaj.

Aliajele de lipit fără plumb, care înlocuiesc aliajele SnPb, conțin Sn ca metal de bază și unul sau mai multe din următoarele metale (se dau exemplele cele mai utilizate):

- argint (Ag);
- indiu (In);
- zinc (Zn);
- cupru (Cu);
- bismut (Bi);
- stibiu (Sb).

Exemple de aliaje de lipit fără plumb:

- Sn-58Bi
- Sn-42In
- Sn-50In
- Sn-8Zn-3Bi
- Sn-Zn-Bi-In
- Sn-Zn-P
- Sn-8.8In-27.6Zn
- Sn-20In-2.8Ag
- Sn-10.5In-2Ag-0.5Sb
- Sn-9.5Bi-0.5Cu
- Sn-0.7Cu
- Sn-1Cu
- Sn-2.5Ag
- Sn-3.5Ag
- Sn-5Ag
- Sn-3.4Ag-1.2Cu

- Sn-3.4Ag-1.2Cu-3.3Bi
- Sn-3.5Ag-0.7Cu
- Sn-4Ag-0.5Cu
- Sn-4.7Ag-1.7Cu
- Sn-Ag-Cu-Ge
- Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb
- Sn-Ag-Bi
- Sn-1.5Ag-2Bi-0.5Cu
- Sn-1Sb
- Sn-5Sb
- 80Au -20 Sn
- Sn-3Cu
- Sn-25Ag-10Sb

Din punct de vedere al temperaturii de topire, aceste aliaje:

- au temperatură de lipire joasă (mai joasă decât aliajul SnPb37).

Ex.

- aliajele de Sn In, cum ar fi: SnIn52, cu $T_{top} = 118^{\circ}\text{C}$ - mai mică decât SnPb; are cost ridicat datorită indiumului și resursele sunt limitate; nu se recomandă;
- aliajele de SnBi, cum ar fi Sn Bi58, cu $T_{top} = 138^{\circ}\text{C}$ - mai mică decât SnPb; prezintă abilități de operare la temperaturi mai scăzute; prezintă faze care se topesc la $T_S = 96^{\circ}\text{C}$;

- aliajele de SnZn, cum ar fi Sn Zn9, cu $T_{top} = 199^{\circ}\text{C}$ - comparabilă cu SnPb; corodează; nu se recomandă;

- aliajele de staniu cu argint și/sau cupru, cum ar fi: Sn Ag3.8 Cu0.7, cu $T_{top} = 217^{\circ}\text{C}$; Sn Ag3.5, cu $T_{top} = 221^{\circ}\text{C}$; Sn Cu0.7, cu $T_{top} = 227^{\circ}\text{C}$; nu au probleme cu coroziunea; au conductivitate electrică și termică mai bună decât aliajele de SnPb, dar au T_{top} mai mare decât SnPb.

În concluzie, proprietățile principalelor aliaje folosite sunt sintetizate în tabelul:

aliaj	compoziție	T_{top} [$^{\circ}\text{C}$]	caracteristici		preț [% din SnPb]
			avantaje	dezavantaje	
cu temperatură de topire ridicată	SnAg(2-4)Cu(0.5-1)	217-220	-proprietăți mecanice bune (dur); -rezistență la șoc termic; fluiditate bună; -comportare bună în câmp; -gamă largă de produse; -disponibil în pastă, bare, fire.	-punct de topire relativ ridicat; -întindere slabă a aliajului; -este necesar patent de produs nou; -cost relativ ridicat;	240
cu temperatură de topire medie	SnAgCuBiIn	196-208	-punct de topire relativ scăzut; -proprietăți de lipire bune; -capacitate scăzută de a forma goluri interioare; -proprietăți mecanice bune (dur);	-cost foarte ridicat; -necesită o selectare cu multă atenție a compoziției; -este necesar patent de produs nou;	290
	SnZn(8-9)Bi(0-3)	187-199	- punct de topire scăzut; -proprietăți mecanice și fluiditate bune	-reactivitate considerabilă; oxideaza; -lipire slabă; -necesită barieră (acoperire) de Ni/Au sau Ni/Pd/Au	150

Pentru **compartie** se poate folosi tabelul:

aliaj fără plumb caracteristici	Sn-3.5Ag	Sn-(3.4-4.1)Ag-(0.45-0.9)Cu	Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb	Sn-0.7Cu	Sn-Bi-Ag	Sn-Zn-Bi
T_{top}	întaltă	medie	medie	f. întaltă	joasă	f. joasă
nu se desprind de pe pad-ul de lipire la solidificare	mediu	mediu	mediu	mediu	prost (se deaprint)	prost (se deaprint)
putere de lipire	satisfăcătoare	bună	medie	slabă	f. bună	f. f. slabă
procesabilitate	medie	f. bună	f. bună	slabă	satisfăcătoare	f. f. slabă
fiabilitate	medie	f. bună	f. bună	satisfăcătoare	slabă	f. slabă
reciclabilitate	medie	medie	medie	medie	slabă	f. slabă
cost	destul de mare	destul de mare	destul de mare	mic	destul de mare	de mic
disponibilitate	ușor găsit	disponibilitate medie	disponibilitate medie	ușor găsit	destul de greu găsit	de greu găsit

Alegerea aliajului se face și funcție de tehnologia de fabricație a cablajului. Astfel, cel mai des folosite aliaje în cadrul diverselor tehnologii sunt:

- pentru lipire prin retopire: Sn-Ag3.9-Cu0.6; Sn-Ag3.8-Cu0.7; Sn-Ag(3.4-4.1)-Cu(0.45-0.9) în S.U.A. și Europa, respectiv Sn-Ag3-Cu0.5 în Japonia;
- pentru lipirea în val: Sn-Ag(3.4-4.1)-Cu(0.45-0.9); Sn-Ag3-Cu0.5;
- pentru lipirea manuală: Sn-Ag(3.4-4.1)-Cu(0.45-0.9); Sn-Ag3-Cu0.5.

Utilizarea de aliaje de lipit noi impune modificări în chimia **fluxurilor** pentru curățare. Cele mai mari modificări trebuie să le sufere fluxurile pentru aliaje de lipit ce conțin Zn. Modificarea compoziției chimice a fluxurilor afectează de asemenea procesul de curățare, masca de lipire, acoperirea cu straturi de protecție, etc. În general, toate materialele implicate în realizarea cablajului imprimat suferă modificări sau sunt afectate, precum și etapele tehnologice implicate. Dacă în urma modificării fluxului apar goluri interne în lipitură, poate fi necesară adăugarea unui solvent sau a unei rășini suplimentare care să rezolve problema.

În **procesul de proiectare** a cablajelor imprimate vor avea loc modificări, datorită înlocuirii aliajului de lipit. Trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- noile aliaje nu se întind la fel de bine ca aliajul de SnPb; acesta nu determina însă reconfigurare spațială a cablajului;
- aliajele fără Pb sunt mai dure decât cele cu Pb;
- aliajele destinate lipirii în val necesită modificarea fluxului și re-curățire;
- capilaritatea este mai slabă ca la aliajele cu Pb, deci interstițiile vor fi umplute destul de slab.

La lipirea în val se pot face îmbunătățiri la proiectare astfel:

- să se recurgă la îndepărtarea surplusului de aliaj la lipirea SMD-urilor și a altor dispozitive montate pe suprafață;

- să se folosească pad-uri suplimentare de rezist la care rezistul se suprapune peste suprafața pad-ului inițial (pentru evitarea desprinderii de pe pad-ul de lipire).

În concluzie:

- aliajele de tip SAC (Sn-Ag-Cu) reprezintă cea mai bună opțiune la ora actuală;
- aliajele Sn-Ag-Bi merită luate în considerație atunci când Pb se va elimina total din procesul de fabricație; ele ar putea fi soluția preferată deoarece temperatura de topire e mai scăzută ca la alte aliaje fără plumb, proprietățile de umezire sunt excelente, etc.;
- aliajele de Sn-Bi dopate cu 1 % Ag pot fi o opțiune viabilă pentru fabricarea cablajlor cu restricții de temperatură rigide.

Materialele pentru substratul de cablaj trebuie să nu conțină halogeni (sau alte substanțe toxice indicate mai sus), de aceea sunt supradenumite "halogen-free board materials". Ele sunt materiale stratificate (laminare), compatibile cu legislația în vigoare (RoHS), deci vor fi "RoHS compliant laminates".

Aceste materiale trebuie în primul rând să fie capabile să suporte temperaturi mai mari, deoarece temperatura de lipire impusă de aliajul de lipit este mai mare. În aceste cazuri trebuie acordată atenție modului în care temperaturile înalte afectează substratul. Pot apare: deformări, delaminări (se desfac straturile), pierderi (scurgeri) de rășină, goluri. Materialele utilizate pentru substrat trebuie să aibă temperatura de modificarea fazei, T_g (glass transition temperature), mai mare de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Temperatura T_g este cea la care un solid amorf devine casant prin răcire sub T_g sau maleabil (ductil) peste această temperatură.)

Substraturile folosite până acum aveau în compoziția lor substanțe care să împiedice aprinderea, în principal pe bază de brom. Acestea se încearcă a fi înlocuite cu substanțe pe bază de fosfor. Dintre compușii pe bază de brom cei mai toxici enumerăm:

- PBB (Polybrominated biphenyl sau difenil polibrominat);
- PBDD (poly-brominated dibenzo-dioxins sau dibenzo-dioxine polibrominate);
- PBDF (poly-brominated dibenzo-furans sau dibenzo-furani polibrominați).

Câteva exemple de materialele laminate "halogen-free" sunt:

- CEM-1;
- CEM-3;
- FR1, FR2, FR3, FR3, FR4, FR5.

Materialele de tip CEM (Composite Epoxy Material) sunt laminate cu rășini epoxidice. CEM-1 are ca întăritor hârtie și conține și un strat de fibră de sticlă întrețesută (woven glass fabric), de aceea nu este potrivit pentru cablaje cu componente montate TH (through hole). CEM-3 are baza tot o rășină epoxidică și întăritor din hârtie și fibră de sticlă (fibră în staturile exterioare, dar discontinuu, ceea ce face ca materialul să poată fi folosit în tehnologie TH, la cablaje dublu- sau multi-strat). A fost proiectat special pentru a înlocui varianta de FR-4 veche, care este toxică.

Dintre materialele de tip FR (flame retardant) cel mai cunoscut și mai folosit este FR4. Varianta veche este toxică, dar au apărut variante noi care sunt compatibile RoHS. FR1 este compus din rășină fenolică cu întăritor din hârtie, la fel ca și FR2 (primul aparat, denumit și cu indicativul UL94-V0). Are temperatura T_g destul de mare ($130\text{ }^{\circ}\text{C}$), mai mare decât FR2 (cu $T_g = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$), de aceea este preferat de producători. FR3 are rășină epoxidică și întăritor din hârtie. FR4 are rășină epoxidică și întăritor din fibră de sticlă. Este unul dintre cel mai des folosite materiale pentru substraturi de cablaj imprimat (se pare că această combinație material de bază - întăritor este cea mai reușită, conferind materialului cele mai bune proprietăți). FR5 este un laminat mai scump, format din straturi multiple de fibră de sticlă întrețesută, impregnată cu o rășină epoxidică polifuncțională. Sistemul are stabilitate mecanică foarte bună și T_g între 150 și $160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dintre proprietățile materialului **FR4**:

- tangentă de pierderi mică: $\text{tg } \delta = 0.02 \dots 0.03$, ceea ce înseamnă pierderi reduse din energiei câmpului care se propagă;
- permitivitate electrică mică: $\epsilon_r = 4.1 \dots 4.8$, ceea ce permite lucru la înaltă frecvență;
- coeficient de expansiune termică (CTE, Coefficient of Thermal Expansion) destul de mic pe direcția planurilor de laminare (Oz), ceea ce permite lipirea SMD-urilor (Surface Mounted Devices);
- higroscopicitate redusă;

Noi și noi materiale apar, cu proprietăți superioare, domeniu fiind un câmp de lucru deschis.

2. Sisteme SOC

Creșterea gradului de compactizare a cablajelor imprimabile a dus la elaborarea de structuri înglobate de tip "system-on-a-chip" și "system-on-a-package".

Structurile **system-on-a-chip** sau "un întreg sistem pe chip" (SoC sau SOC în literatura de specialitate) se referă la structurile integrate care includ toate componentele unui computer sau a altui sistem electronic într-un singur circuit integrat (chip). Acesta poate prelucra semnale digitale, analogice sau mixte, de joasă frecvență și/sau de radio-frecvență - toate pe un singur chip. O aplicație tipică o constituie sistemele înglobate în cip.

Dacă o anumită aplicație nu este fezabilă pentru a fi integrată într-un SOC, o alternativă o constituie un sistem de tip "system-on-a-package" (SOP) sau "system in package" (SiP) care cuprinde o serie de chip-uri într-un singur PCB. SoC-ul este considerat a fi mai eficient, deoarece acesta crește producția de fabricație și deoarece cablajul este mai simplu este simplu (clasic, fără componente înglobate).

Un SoC tipic constă din:

- unul sau mai multe microcontrolere, microprocesor sau DSP Core (s);
- blocuri de memorie incluzând o selecție de ROM, RAM, EEPROM și Flash;
- surse variabile în timp incluzând oscilatori și bucle PLL;
- periferice incluzând contoare, numărătoare în timp real-timp, generatoare și circuite de reset;
- interfețe externe incluzând standardele industriale, cum ar fi USB, FireWire, Ethernet, USART, SPI;
- interfețe analogice incluzând convertoare ADC-uri și DAC-uri;
- regulatoare de tensiune și circuite de management al puterii.

Aceste blocuri sunt conectate prin bus-uri particulare sau standard caum ar fi bus-ul AMBA de la ARM. Controlerele DMA conduc datele direct între interfețele externe și memorie străbătând inima procesorului și crescând astfel rata de tranfer de date a SoC-ului.

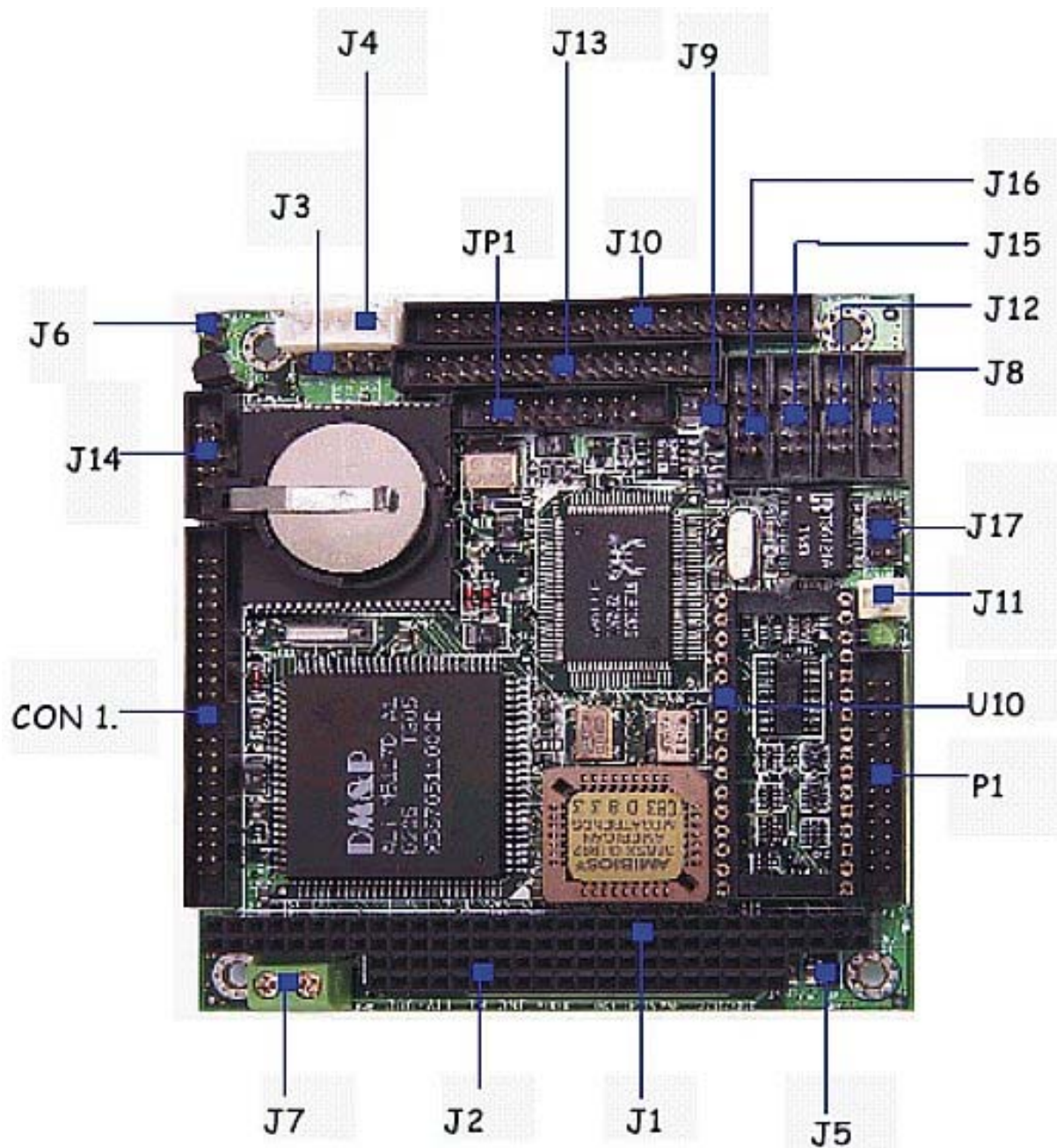
Ex.

ICOP-6054VE

4MB/4S/VGA/LCD/GPIO/LAN/DOC

http://www.ultrasmart.org/CTLplus3_mLogicMiniPCHome.html

Sistemul ICOP-6054VE reprezintă un mini PC realizat pe un singur cip (înglobat într-un cip), cu intrări/ieșiri digitale pt. semnale de viteză mare. Sistemul programabil soft (de ex. Cu ajutorul software-ului microLOGIC PLC (ICOP Technology)).



Specificații:

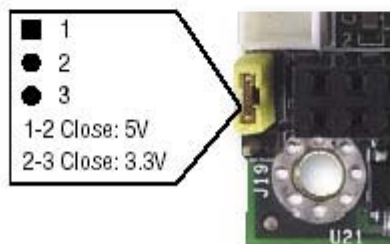
SoC	DM&P(ALi) M6117D System-on-Chip CPU 386SX-40MHz Real Time Clock with Lithium Battery Backup
Bus	PC/104 standard compliant
BIOS	AMI BIOS
System Memory	Onboard 4MB EDO RAM
Watchdog Timer	Software programmable from 30.5 us to 512 seconds
VGA	TOPRO TP6508IQ Chipset VGA and Mono/STN/DSTN/TFT Flat Panel interface support Onboard 1MB VGA Memory, support resolution up to 1024x768, 256 colors
LAN	Realtek 8019AS 16-bit ISA Full-Duplex Ethernet Controller

	NE2000 compatible with built-in 16KB RAM buffer Throughput 10Mbps
Flash Disk Support	MSTI EmbedDisk Module (16MB and above) PQI DiskOnModule (16MB and above) M-System DiskOnChip 2000 (16MB and above) Winbond DIP Package Flash W29C040 (512KB)
I/O Interface	Enhanced IDE port x1 FDD port x1 RS-232 port x3 RS-232/485 port x1 Parallel port x1 16-bit GPIO port x1 10Mbps Ethernet port x1
Connectors	2.0mm 44-pin box header for IDE x1 2.0mm 44-pin box header for LCD x1 2.0mm 34-pin box header for FDD x1 32-pin DIP socket for DOC x1 2.0mm 26-pin box header for Printer x1 2.0mm 20-pin box header for 16-bit GPIO x1 2.0mm 10-pin box header for RS-232 x4 2.0mm 10-pin box header for VGA x1 2.0mm 8-pin header for Ethernet x1 2.54mm 5-pin box header for Keyboard x1 2.54mm 5-pin header for Mouse x1 2.54mm 4-pin header for +12V, -12V, -5V DC-in x1 2.54mm 2-pin header for RS-485 x1 2.54mm 2-pin header for Reset x1
Power Requirement	Single Voltage +5V @710mA
Weight	76g
Board Size	90 X 96mm (3.54 x 3.77 inches)
Operating Temperature	-20°C ~ +70°C

4 Serial Ports Support



3.3V/5V LCD Voltage Selection



Packing List

- ICOP-6054VE x1

- **CD for User's Manual & Driver x1**
- **Cable**
 - HDD 44P (2.0) x1**
 - FDD (2.0) x1**
 - PRINT (2.0) x1**
 - RS-232 (2.0) x4**
 - VGA (2.0) x1**
 - NET 4x2 (2.0) x1**
 - GPIO (2.0) x1**
 - PS2 KB White x1**

- **Screw Kit x1**

Ordering information:

- **ICOP-6054VE-4I**
 - M6117D PC/104 CPU Module**
- **LCD-064-SET**
 - 6.4" LCD Kit**

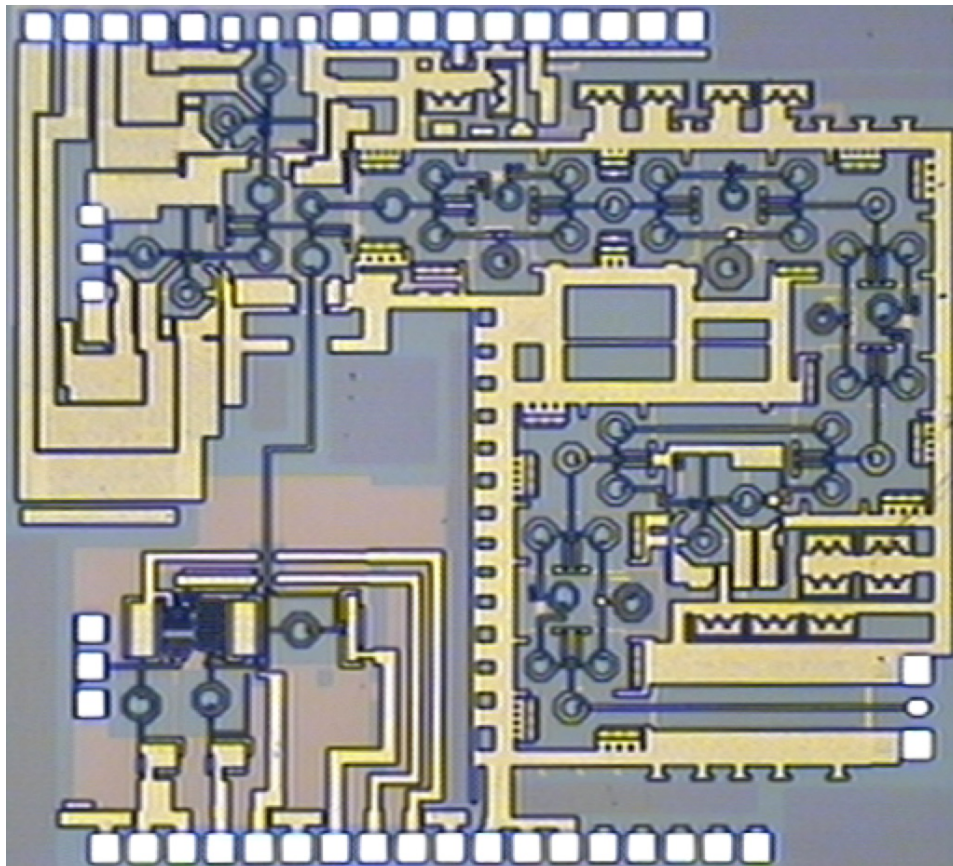
3. Sisteme SiP

Structurile **system-on-a-package** (SiP, sisteme înglobate în cablaj), cunoscute și sub numele de Chip Stack MCM (sivă de cip-uri) sunt alcătuite dintr-un număr de circuite integrate incluse într-un singur pachet sau modul. SiP efectuează toate sau majoritatea funcțiilor unui sistem electronic și le găsim de obicei în interiorul unui telefon mobil, PC (personal Computer), player de muzică digitală, etc. Ca structură, SiP-urile sunt formate din plăci de siliciu (dies) conținând circuite integrate care pot fi stivuite vertical pe substrat. Ele sunt conectate intern prin fire fine care sunt îngropate în cablaj. O alta alternativă o găsim în cadrul tehnologiei "cip basculant" (flip chip), la care se folosesc pad-urile de aliaj în exces (sub formă de biluță – ies în relief) pentru a uni cip-urile stratificate. Plăcuțele SiP sunt stocate vertical, nu ca modulele multi-cip mai puțin dense, unde plăcuțele sunt așezate orizontal, una în continuarea celeilalte.

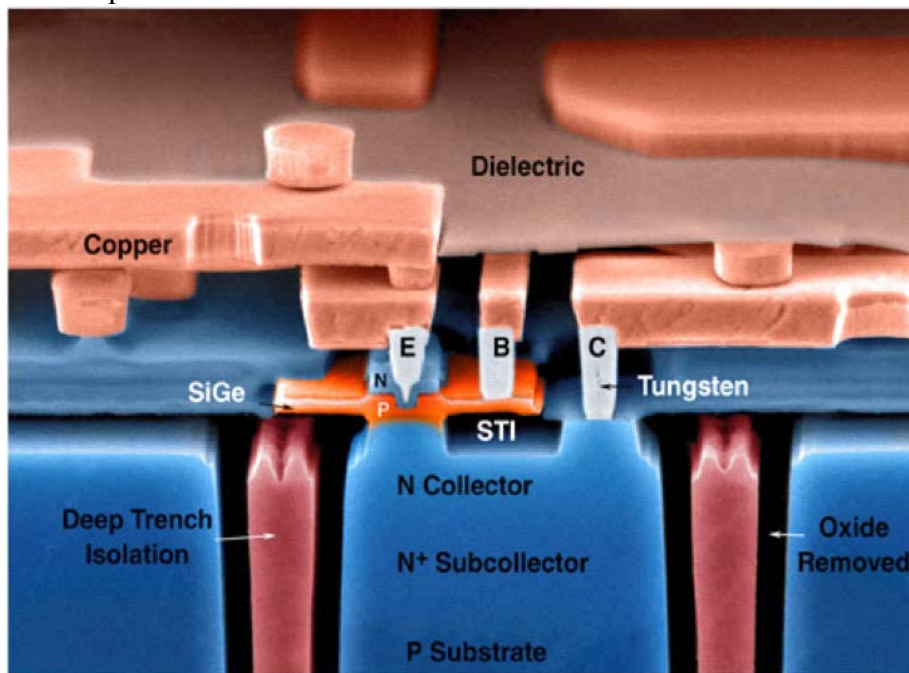
Un exemplu de SiP este cel care conține câteva cip-uri - cum ar fi un procesor specializat, DRAM, memorie ne-volatilă (flash memory) - combinate cu câteva elemente pasive - rezistoare și condensatori - toate montate pe același substrat. Se realizează astfel o unitate funcțională completă, înglobată într-un cablaj multi-cip, care mai are nevoie doar de câteva componente externe ca să funcționeze. SiP-urile sunt deosebit de utile la dispozitive unde există constrângere de spațiu, cum ar fi player-ele MP3 sau telefoanele mobile. Se reduce astfel complexitatea PCB-ului și scade complexitatea proiectării acestuia. Dezavantajele SiP-urilor sunt: scade cantitatea de produse fabricate, în timp ce orice cip defect din interiorul SiP-ului face nefuncțional tot SiP-ul, chiar dacă toate celelalte module ale sale funcționează.

Ex.

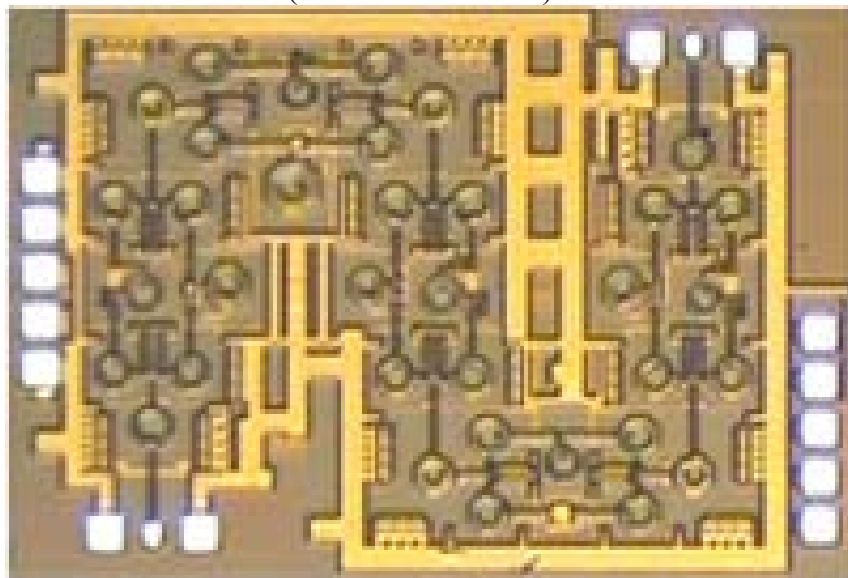
X-Band T/R Module (modul de transmisie/recepție în banda X):



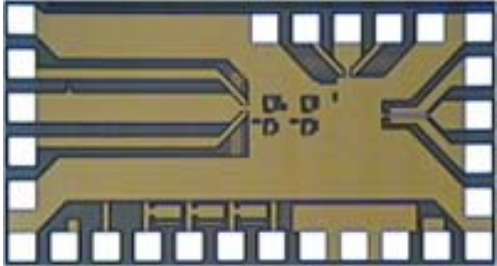
Detaliu printr-un SiP:



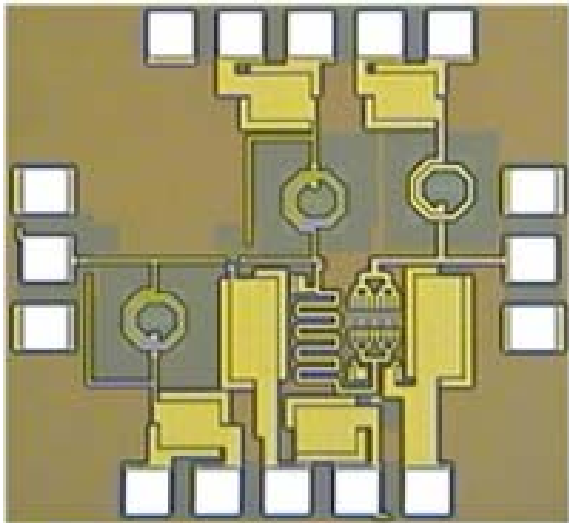
X-band Phase Shifter (defazor în banda X):



20 GS/s $\Sigma\Delta$ Modulator (modulator sumator modulo-delta de 20 GS/s):



X-Band Power Amplifier (amplificatory de putere în banda X):



K-Band Up-Mixer (mixer ridicător în banda K):

