



Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

# **CIRCUITE INTEGRATE MONOLITICE DE MICROUND**

*Curs 2*

Ș.L. dr. ing. Iov J. Cătălin

# CIMM vs CIM

**CIMM**

3x4 mm



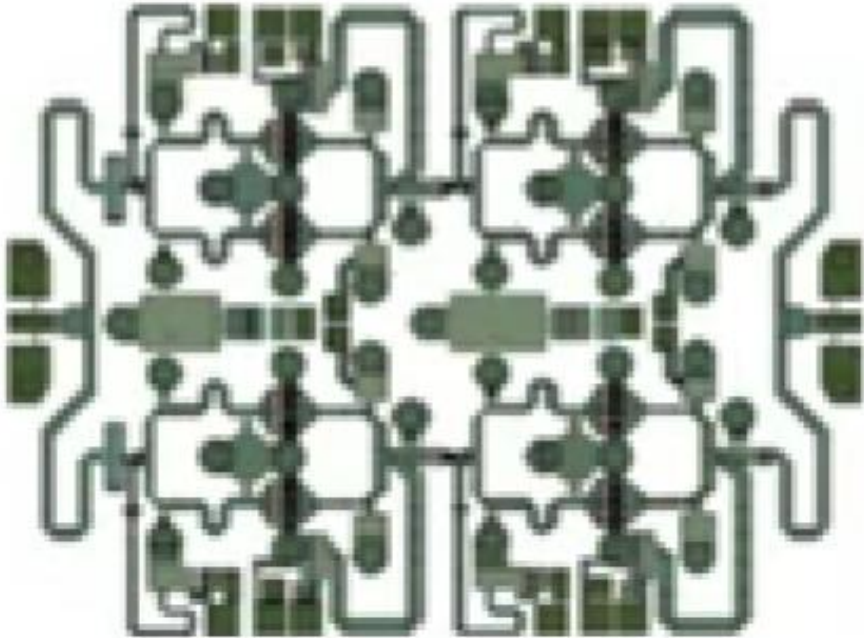
**CIM**

3x4 inch

# CIMM vs CIM

## CIMM

3x4 mm



## CIM

3x4 inch



# CIMM

- Primul ciclu de fabricație – 70-300k \$





# CIMM

- Variante ulterioare – incrementare "decentă" cu 5-10k \$ pentru tehnologia GaAs până la 39k \$ pentru tehnologia GaN

# CIMM



- USD/mm<sup>2</sup>:
  - GaAs – 0,25-0,5
  - GaN – 2-4
  - InP – 2-4

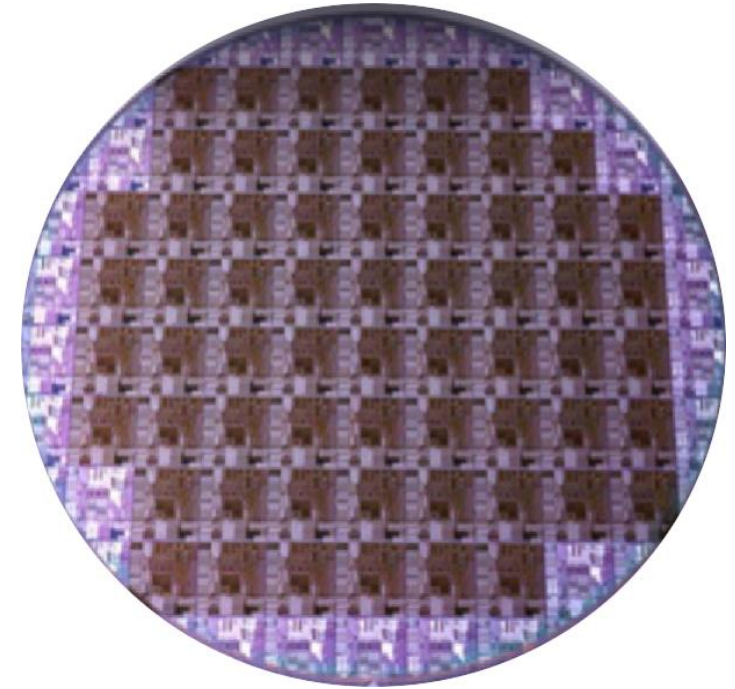
# CIMM

- circuitele hibride (CIM + componente discrete) – substraturi + carcuse + asamblare (costuri suplimentare)



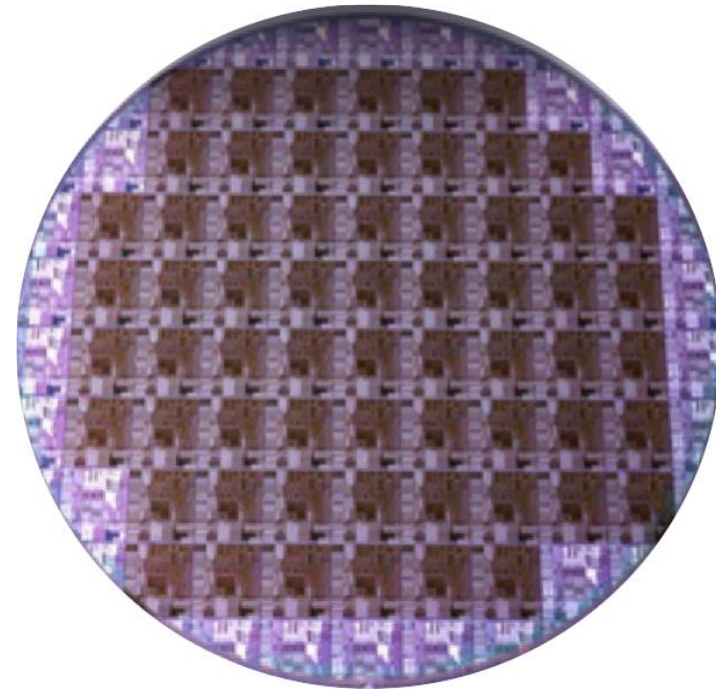
# CIMM

- $\Phi=3\text{inch}$  – aprox  $4500\text{mm}^2$
- $\Phi=4\text{inch}$  – aprox  $7800\text{mm}^2$
- $\Phi=6\text{inch}$  – aprox  $17600\text{mm}^2$

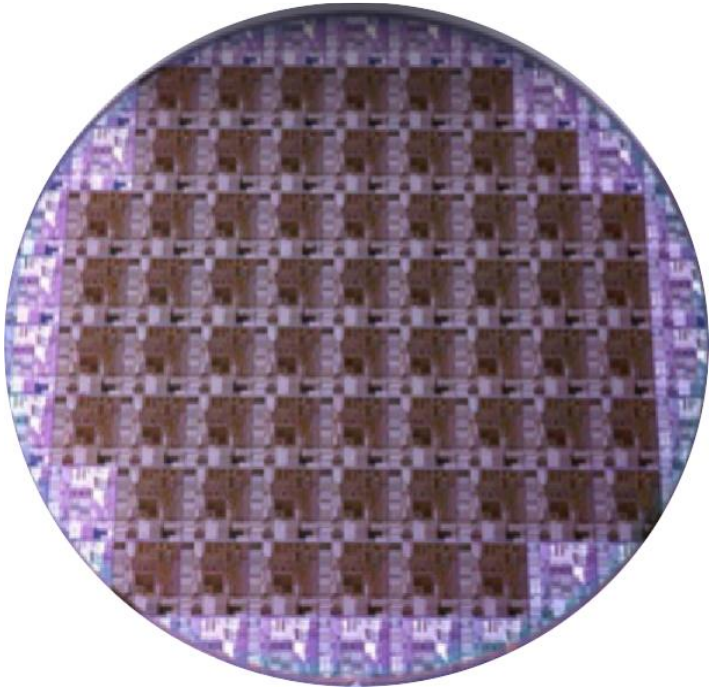


# CIMM

- Pentru randament de 85% și un cost de 6000\$/design:
  - 1,5\$/mm<sup>2</sup> pentru 3inch
  - 0,9\$/mm<sup>2</sup> pentru 4inch
  - 0,4\$/mm<sup>2</sup> pentru 6inch



# CIMM



- Pentru randament de 90% costul ar fi de 33\$/20\$/9\$/chip
- + asamblarea și încapsularea (automatizat nu încarcă preț)

# CIMM

## Avantaje

- dimensiuni și greutate reduse
- reproductibilitate bună
- benzi largi de frecvență
- cost avantajos pentru serii mari
- flexibilitate în proiectare

# CIMM

## Dezavantaje

- pierderi mai mari pe liniile de transmisiuni
- lipsa posibilității de reglaj
- existența cuplajelor nedorite de radiofrecvență
- cost ridicat al echipamentului
- valori limitate ale componentelor

# CIM

- Construcție modulară: Componentele sunt montate pe substrat folosind tehnici precum lipirea sau săparea cu laser a interconexiunilor.

# CIM

- Flexibilitate: Proiectele pot fi modificate relativ ușor, iar componentele pot fi înlocuite sau ajustate pentru optimizare.

# CIM

- Dimensiuni mai mari: Datorită utilizării componentelor discrete, circuitele sunt mai voluminoase comparativ cu CIMM.

# CIM

- Performanță variabilă: Interconexiunile și componentele discrete pot introduce pierderi semnificative și efecte parazite.

# CIM

## Avantaje

- substrat ieftin
- cost mic în general
- pot fi reparate (evident, având în vedere dispunerea componentelor discrete la dispoziția utilizatorului)
- pierderi mici în liniile de transmisiuni
- o varietate largă de componente ce pot fi utilizate
- Flexibilitate în proiectare: Permite ajustări rapide în funcție de cerințele aplicației

# CIM

## Dezavantaje

- bandă limitată de frecvențe (doar frecvențe joase)
- fiabilitate mai scăzută: Interconexiunile mecanice sunt mai susceptibile la defecțiuni
- paraziți ce nu pot fi controlați
- dimensiune mare
- cost ridicat de asamblare

# Benzile de frecvență ale CIMM

- L – 1-2 GHz
- S – 2-4 GHz
- C – 4-8 GHz
- X – 8-12 GHz
- Ku – 12-18 GHz
- K – 18-26 GHz
- Ka – 26-40 GHz
- unde milimetrice (Q, V, W)

# Benzile de frecvență ale CIMM

- Aplicațiile în benzile Ku, K, Ka și undelor milimetrice includ:
  - comunicarea în standardul 5G,
  - evitarea coliziunilor,
  - comunicațiile pe satelit,
  - aplicații militare,
  - scanere de securitate etc.

# Tehnologii utilizate

- GaAs MESFET (Metal-Semiconductor FET) – cea mai veche tehnologie, tehnologia originală, inițială
- GaAs pHEMT (Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor) – mai recentă, mai utilizată la momentul actual

# Tehnologii utilizate

- GaAs MHEMT (metamorphic HEMT)
- Tehnologii de semiconductori III-V – realizați din materiale din grupul III de elemente (B, Al, Ga, In) și grupul V de elemente (N, P, As, Sb) din tabelul periodic al elementelor chimice

# Tehnologii utilizate

- GaAs HBT (Hetero Bipolar Transistor)
- GaN HEMT (cu 2 subtehnologii: GaN/SiC și GaN/Si) – 17-40 GHz – poate opera la temperaturi ridicate și tensiuni ridicate.

# Tehnologii utilizate

- InP HEMT – oferă viteză foarte mare de comutare, deci frecvențe de lucru foarte mari, zgomot redus și câștig ridicat față de tehnologia pe bază de GaAs dar sunt mai scumpe din cauza dimensiunilor reduse și fragilității materialului
- InP HBT

# Tehnologii utilizate

- Si BiCMOS (Bipolar/Complementary Metal Oxide Semiconductor) – tehnologii ieftine
- SiGe BiCMOS

# Tehnologia GaAs (Arsenura de galiu)

- GaAs este unul dintre cele mai utilizate materiale pentru MMIC-uri datorită proprietăților sale electrice superioare față de siliciu.
- avantaje:
  - Mobilitatea ridicată a electronilor, care permite o frecvență de operare mai mare.
  - Rezistență mare la zgomot, ceea ce îmbunătățește performanța circuitelor RF.
  - Capacitate redusă de interconectare, ceea ce duce la o viteză mai mare de operare

# Tehnologia GaAs (Arsenura de galiu)

- în amplificatoare de microunde, comutatoare RF, mixere și oscilatoare de mare frecvență
- ideal pentru sisteme radar și comunicații mobile

# Tehnologia GaAs (Arsenura de galiu)

- Creșterea epitaxială a straturilor de GaAs prin tehnici precum MBE (Molecular Beam Epitaxy) sau MOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition).
- Fotolitografie pentru modelarea circuitelor.

# Tehnologia GaAs (Arsenura de galiu)

- Doping selectiv pentru a crea regiuni active.
- Depunerea metalelor pentru contactele electrice și interconectări.
- Încapsularea și testarea dispozitivului final.

# Tehnologia GaN (Nitrura de galiu)

- devenit popular datorită următoarelor proprietăți:
  - Tensiune de rupere ridicată, ceea ce permite operarea la puteri mai mari.
  - Eficiență energetică crescută și densitate mare de curent.
  - Stabilitate termică superioară, ceea ce permite utilizarea în medii extreme.

# Tehnologia GaN (Nitrura de galiu)

- în amplificatoare de putere pentru stații de bază 5G, echipamente radar și sisteme de comunicații prin satelit

# Tehnologia GaN (Nitrura de galiu)

- **Depunerea epitaxială:** Straturile de GaN sunt crescute pe substraturi precum carbură de siliciu (SiC) sau siliciu, utilizând tehnici precum depunerea chimică din fază de vapori metal-organică (MOCVD).
- **Fotolitografie:** Se aplică un strat fotosensibil pe suprafața materialului, care este apoi expus la lumină printr-o mască pentru a defini modelele circuitului.

# Tehnologia GaN (Nitrura de galiu)

- **Gravură:** Zonele expuse sunt îndepărtate prin procese chimice sau fizice, creând structurile necesare pe stratul de GaN.
- **Dopaj:** Se introduc impurități specifice pentru a modifica proprietățile electrice ale anumitor regiuni, esențiale pentru funcționarea dispozitivelor semiconductoare.

# Tehnologia GaN (Nitrura de galiu)

- **Depunerea contactelor metalice:** Se aplică straturi metalice pentru a crea contacte electrice și interconectări între diferitele componente ale circuitului.
- **Pasivizare și încapsulare:** Se adaugă straturi de protecție pentru a izola și proteja circuitul de factorii externi, urmate de încapsularea finală a dispozitivului.

# Tehnologia SiGe (Siliciu-Germaniu)

- combină avantajele siliciului cu proprietățile electrice îmbunătățite ale germaniului:
  - Integrare ușoară cu tehnologia CMOS, permițând costuri reduse de producție.
  - Performanțe RF superioare față de siliciu pur.
  - Frecvență de operare ridicată, potrivită pentru aplicații de bandă largă

# Tehnologia SiGe (Siliciu-Germaniu)

- în circuite pentru rețele de telecomunicații, dispozitive wireless și receptoare de semnale radar.

# Tehnologia SiGe (Siliciu-Germaniu)

- Creșterea epitaxială a stratului de SiGe pe substratul de siliciu.
- Doping selectiv pentru optimizarea performanței tranzistorilor.

# Tehnologia SiGe (Siliciu-Germaniu)

- Procesare CMOS standard pentru realizarea circuitelor integrate.
- Depunerea metalizărilor pentru contacte și interconectări.
- Pasivizare și testare finală

# Tehnologia InP (Fosfură de Indiu)

- oferă avantaje semnificative față de alte tehnologii:
  - Mobilitate foarte mare a electronilor, ceea ce permite operarea la frecvențe extrem de ridicate (>100 GHz).
  - Potențial ridicat pentru aplicații de mare viteză și bandă largă.

# Tehnologia InP (Fosfură de Indiu)

- în comunicații optice de mare viteză, radare avansate și sisteme de comunicații prin satelit

# Tehnologia InP (Fosfură de Indiu)

- Creșterea epitaxială a stratului de InP.
- Modelare prin fotolitografie și gravură.
- Depunerea metalizărilor pentru contacte.
- Încapsulare și testare finală.

# Tehnologia GaAs PHEMT

## Avantaje

- Utilă în banda W, în special pentru trasee spre grosimi de 2mils
- Excelentă eficiență și putere
- Tensiunea de străpungere de 14 volți, tensiune de drenă tipică de 5-6 volți
- Temperatura canalului posibilă până la 150C
- Considerată tehnologia pe care se bazează industria actuală

# Tehnologia GaAs PHEMT

## Dezavantaje

- Densitate de putere  $< 0,5\text{W/mm}$
- Liniaritate mai mică decât la MESFET
- De obicei necesită atât tensiuni pozitive cât și negative (VGS și VDS)

# Tehnologia GaAs MHEMT

## Avantaje

- Zgomot extrem de redus, de jos
- Frecvență de comutare extrem de mare, mai mult de 100GHz
- Rezistență de conducție (on-resistance) extrem de redusă, ceea ce o propune pentru comutatoare foarte performante
- Temperatura canalului poate merge până la 150C

# Tehnologia GaAs MHEMT

## Dezavantaje

- Tensiunea de străpungere mult mai mică decât la pHEMT
- Tensiuni de lucru mici (1-2 volți)
- De obicei necesită atât tensiuni pozitive cât și negative (VGS și VDS)

# Tehnologia GaAs HBT

## Avantaje

- Singură polaritate a tensiunii de alimentare
- Densitate mare de putere ceea ce conduce la costuri mici de producție
- Utilizată în multe modele de telefoane mobile actuale

# Tehnologia GaAs HBT

## Dezavantaje

- Disiparea termică ar putea ridica probleme datorită dimensiunilor reduse
- Izolație slabă între ieșire și intrare
- Sunt necesari rezistori pentru stabilizarea amplificării. Aceasta afectează eficiența în putere

Aplicații pentru modelare, cele mai populare:

- Microwave Office

- ADF

# CIMM

exemplu de vedere de sus + reprezentare 3D  
a unui amplificator de 1W în banda X

