

# La fiabilité durant la fabrication d'un composant électronique

Rosine COQ GERMANICUS  
UNICAEN CRISMAT  
UMR6508



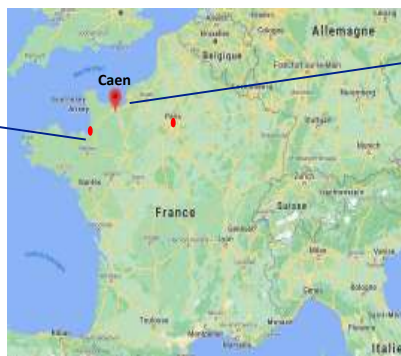
06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

1

## CRISMAT

Laboratoire de Cristallographie et Sciences des Matériaux  
UMR 6508 CNRS / ENSICAEN / Université de Caen Normandie  
Directeur : M. Wilfrid PRELLIER



Jointed laboratories



06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

2

## La fiabilité durant la fabrication d'un composant électronique

### PLAN

- I. L'histoire du composant microélectronique
- II. Etapes de fabrication du semiconducteur au composant
- III. Les défauts pendant la fabrication
- IV. Cas d'études

06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

3

### HISTOIRE



Bardeen, Shockley et Brattain au laboratoire Bell, ont inventé le premier transistor bipolaire en 1947



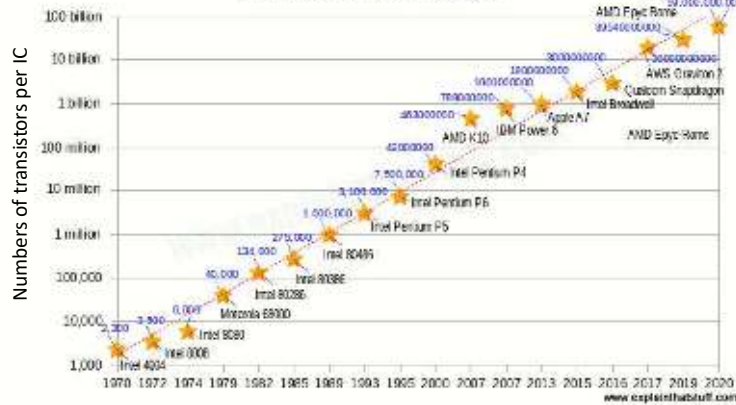
06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

4

# Loi de Moore

50 Years of Moore's law



Aujourd'hui, des technologies à des géométries de 14 et 16 nanomètres et R&D 5-3 nm



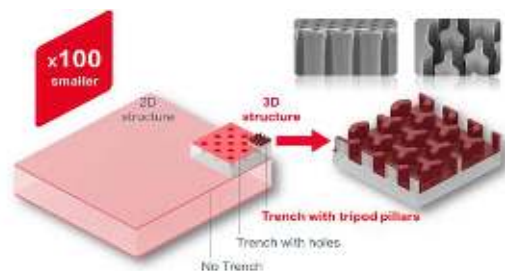
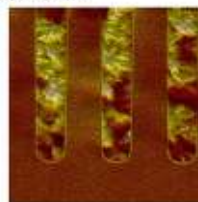
Énoncée en 1965 par Gordon Moore

La loi de Moore prévoit le **doublement** de la densité des puces électroniques **tous les deux ans**

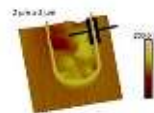
# L'intégration des composants



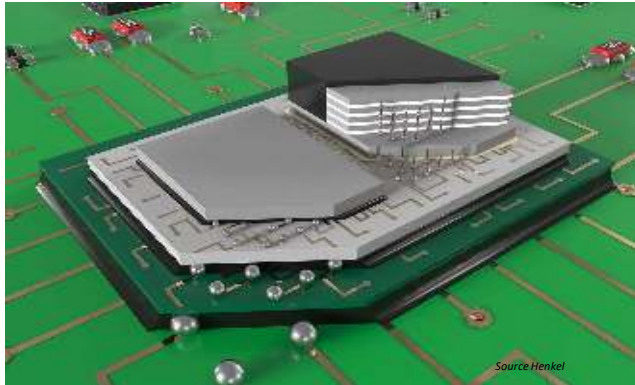
6 µm x 6 µm



**muRata**  
INNOVATIVE IN ELECTRONICS



## Le composant aujourd'hui

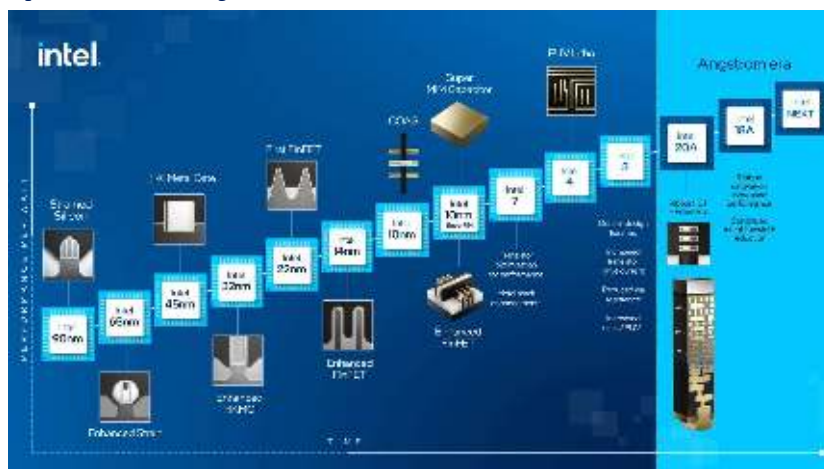


06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

7

## Le composant aujourd'hui

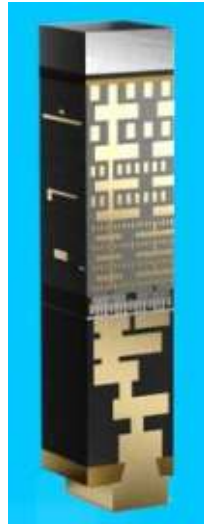


06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

8

## Une architecture 3D fortement intégrée



06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

9

## II. Etapes de fabrication semiconducteur au composant

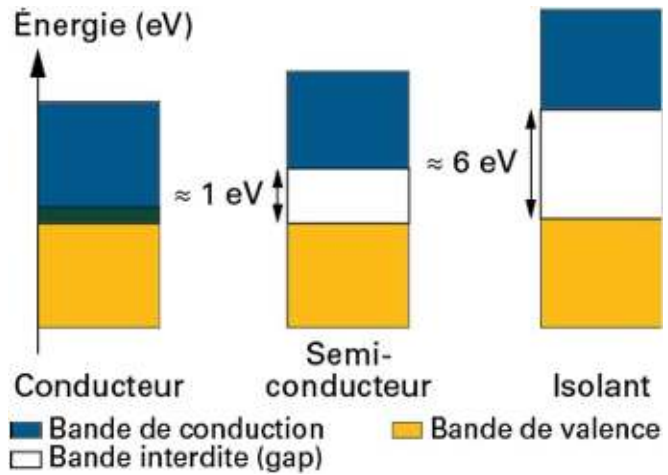
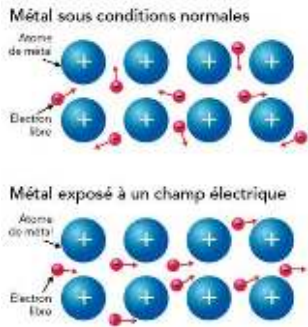
06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

10

## La conduction de la matière

Les conducteurs  $\rho < 10^{-3} \Omega\text{-cm}$   
 Les semiconducteurs  $10^{-3} < \rho < 10^5 \Omega\text{-cm}$   
 Les isolants  $\rho > 10^5 \Omega\text{-cm}$

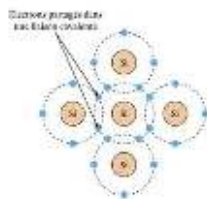


06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

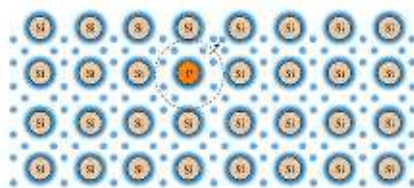
11

## Le dopage du semiconducteur

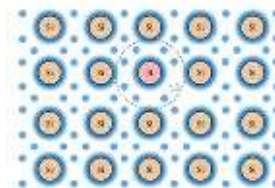


Le silicium est un élément tétravalent, sa structure cristalline normale contient 4 liaisons covalentes de quatre électrons de valence.

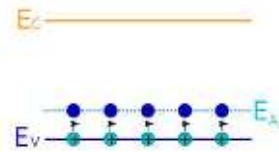
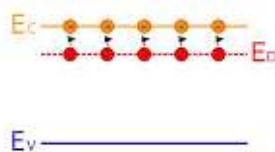
Dopage N



Dopage P



> L'apparition de nouveaux niveaux accepteurs et donneurs d'électrons dans le gap



06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

12

## Du sable au silicium 1/3

Sable composé à 25 % de silicium



Purification

Electronic Grade Silicon (EGS)

Silicium liquéfié à très haute  
température (plus de 1700 °C)

Dégazage

Lingot de Si, 100 Kg, pureté du  
silicium de l'ordre de 99,9999 %

Découpe



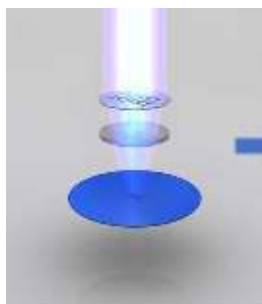
<https://www.irif.fr/~carton/Enseignement/Architecture/Cours/Production/>

06/10/2022

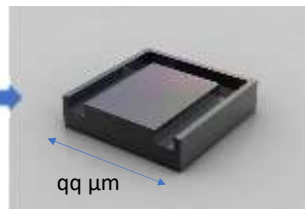
Rosine Coq Germanicus

13

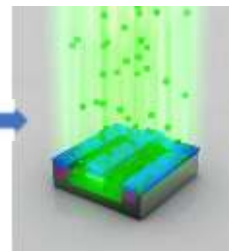
## Du wafer au composant silicium 2/3



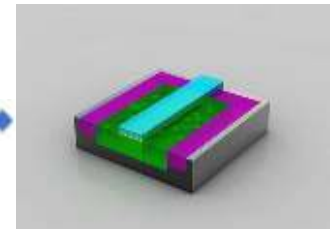
Gravures



99 μm

Dopage par  
implantation

Une puce



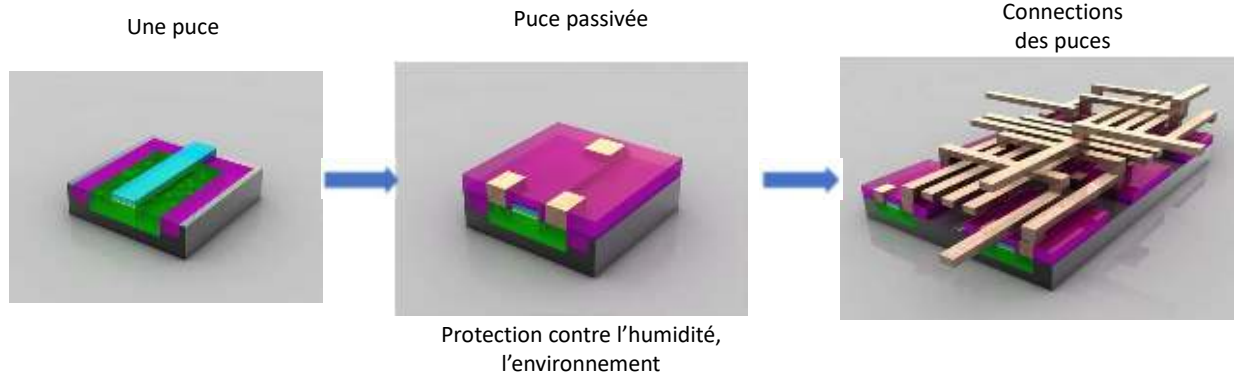
<https://www.irif.fr/~carton/Enseignement/Architecture/Cours/Production/>

06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

14

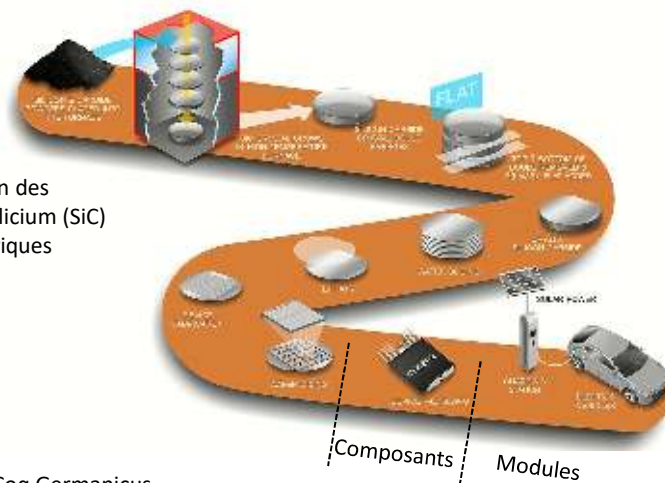
## Du wafer au composant silicium 3/3



<https://www.irif.fr/~carton/Enseignement/Architecture/Cours/Production/>

## De la matière au composant

Les étapes de fabrication des composants en Carbone de Silicium (SiC) pour les véhicules électriques



onsemi



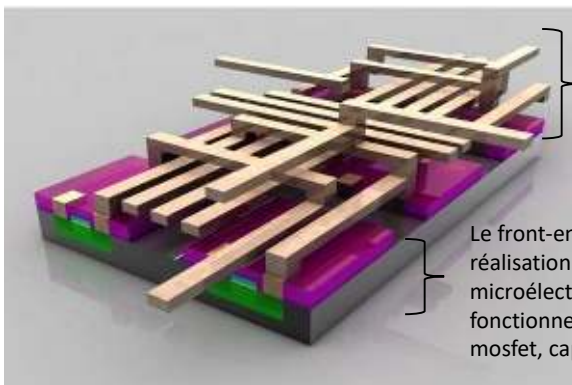
### III. Les défauts pendant la fabrication

06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

17

### FeOL et BeOL



Le back end of line (BEoL) : les  
connections entre les puces et  
les accès modules pour ma la  
mise en boitier

Le front-end of line (FEoL) : la  
réalisation de la puce  
microélectronique  
fonctionnelle (par ex diodes,  
mosfet, capacités)

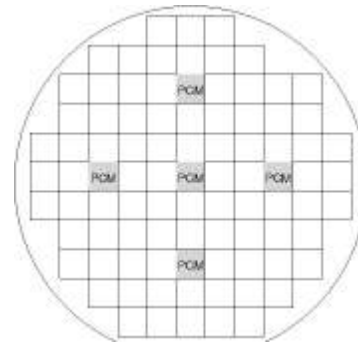


06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

18

## Contrôle des défauts lors de la fabrication

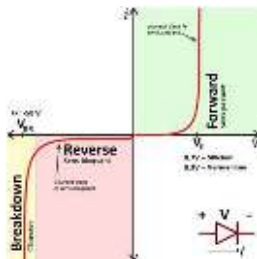


06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

19

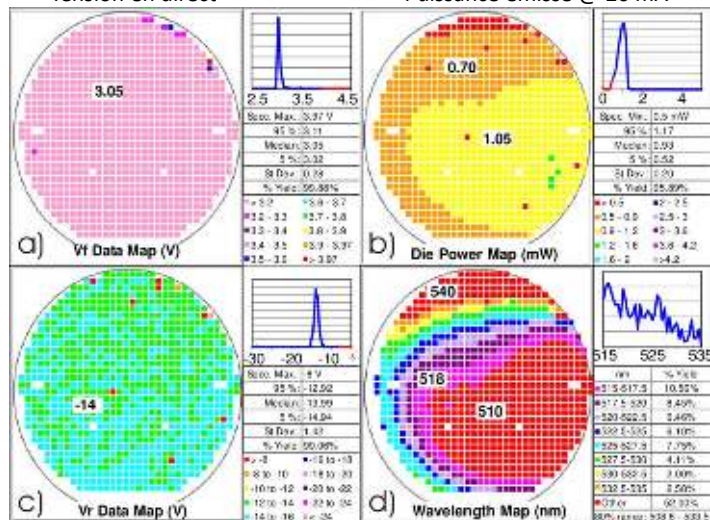
## Tests performances des LEDs



Development of High Power Green Light Emitting Diode Chips  
 •August 2005  
 •MRS Internet journal of nitride semiconductor research 10(2)  
 DOI:10.1557/S1092578300000533

Tension en direct

Puissance émise @ 20 mA



Tension inverse

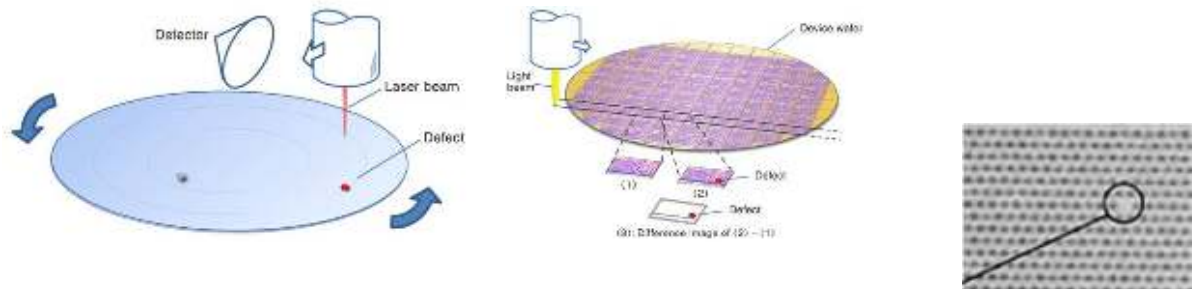
Longueur d'onde dominante @ 20 mA

06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

20

## Localisation des défauts



06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

21

## IV. Cas d'études

06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

22

Fiabilité, Réparabilité et Eco-conception de l'Electronique de Puissance (FRECO)

UNIVERSITÉ DE NORMANDIE | GeePS | SATIE | RISM | Normandie Université | CNRS

### Cas d'étude 1 : un défaut de passivation (BeOL)

1 Design → 2 Premières plaques → 3 Analyse

Dépôt de couche de NiAu sur certaines zones

**NiAu (4μm)**  
Par ENIG : dépôt auto-catalytique

muRata INNOVATOR IN ELECTRONICS | FRANCE RELANCE

06/10/2022 Rosine Coq Germanicus Hecht Service 23

de l'Electronique de Puissance (FRECO)

UNIVERSITÉ DE NORMANDIE | GeePS | SATIE | RISM | Normandie Université | CNRS

### Cas d'étude 1 : la déformation du Nitrure de Silicium : Si3N4

Défaut de sciage

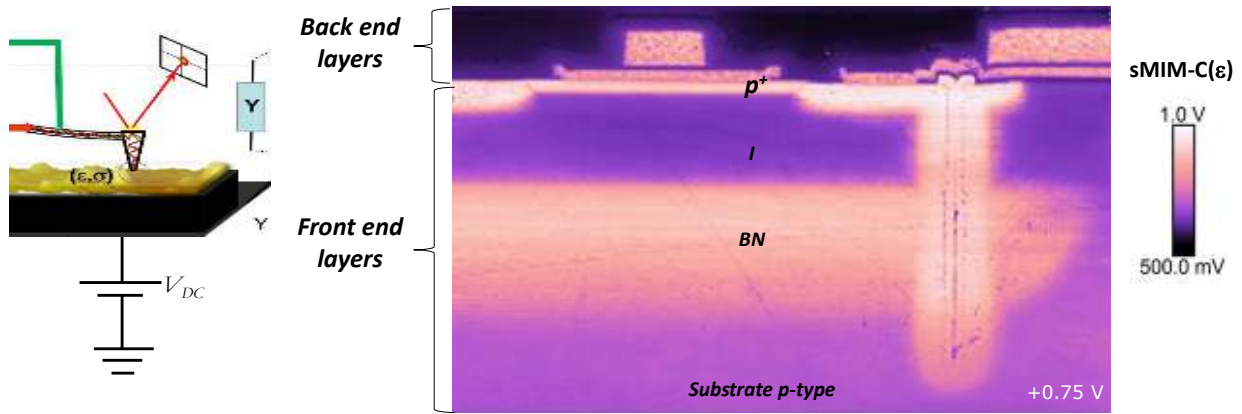
Puce 1 | Découpe du wafer | Puce 2

Matériau	Module d'Young E (GPa)
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	140
Al	114
AISiCu	100
SiO <sub>2</sub>	74
Si	181

Matériau	Dureté H (GPa)
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	14
Al	1.2
AISiCu	1.2
SiO <sub>2</sub>	9
Si	11

06/10/2022 Rosine Coq Germanicus 24

Cas d'étude 2 : distribution des dopants dans la structure PIN (FeOL)



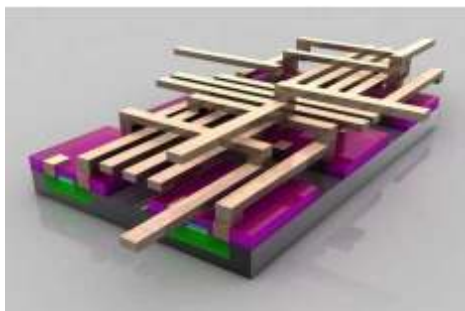
R. Coq Germanicus, P. De Wolf, F. Lallemand, C. Bunel, S. Bardy, H. Murray and U. Lüders, *Beilstein J. Nanotechnol.*, vol. 11, 2020

06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

25

Des questions ?



06/10/2022

Rosine Coq Germanicus

26