



Composants de puissance sur matériaux « grand gap »:

Intérêts, applications et développements en cours pour le GaN

Séminaire technologique sur l'électronique de puissance

ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Enjeux et solutions innovantes d'un marché en plein essor

Jeudi 12 juin 2014
à Polytech' Saint-Nazaire



Sommaire

- L'état actuel et les perspectives en électronique de puissance,
- Pourquoi le GaN, le SiC ou le diamant?
- Le Nitrure de Gallium,
- Les composants de puissance sur GaN,
- La diode Schottky sur GaN.



Etat actuel et perspectives

Véhicule électrique



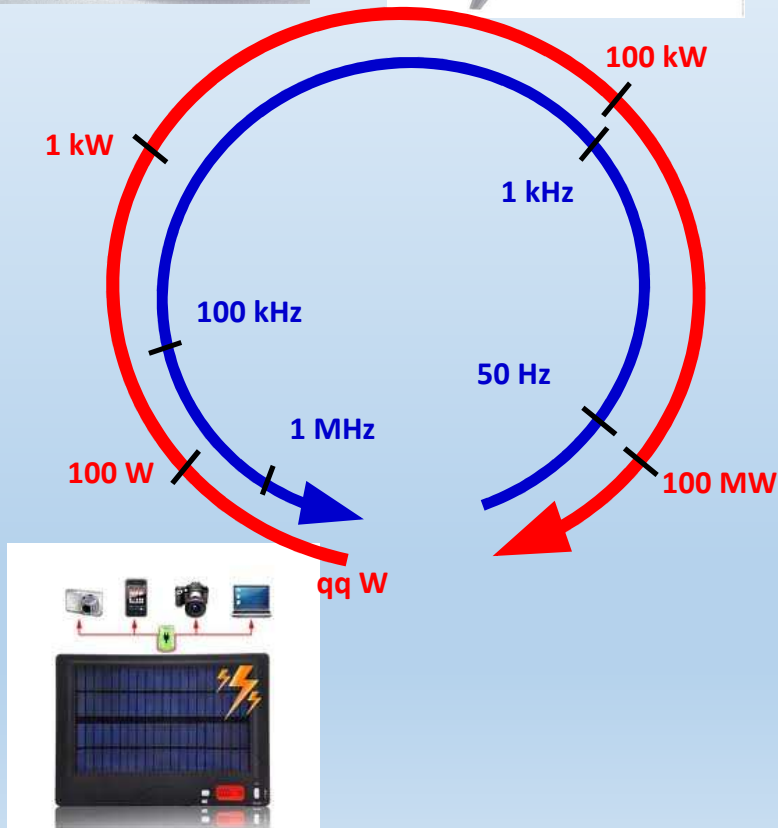
Avion plus électrique



Electroménager



PFC/Alimentation



Alim. Systèmes nomades



Traction ferroviaire



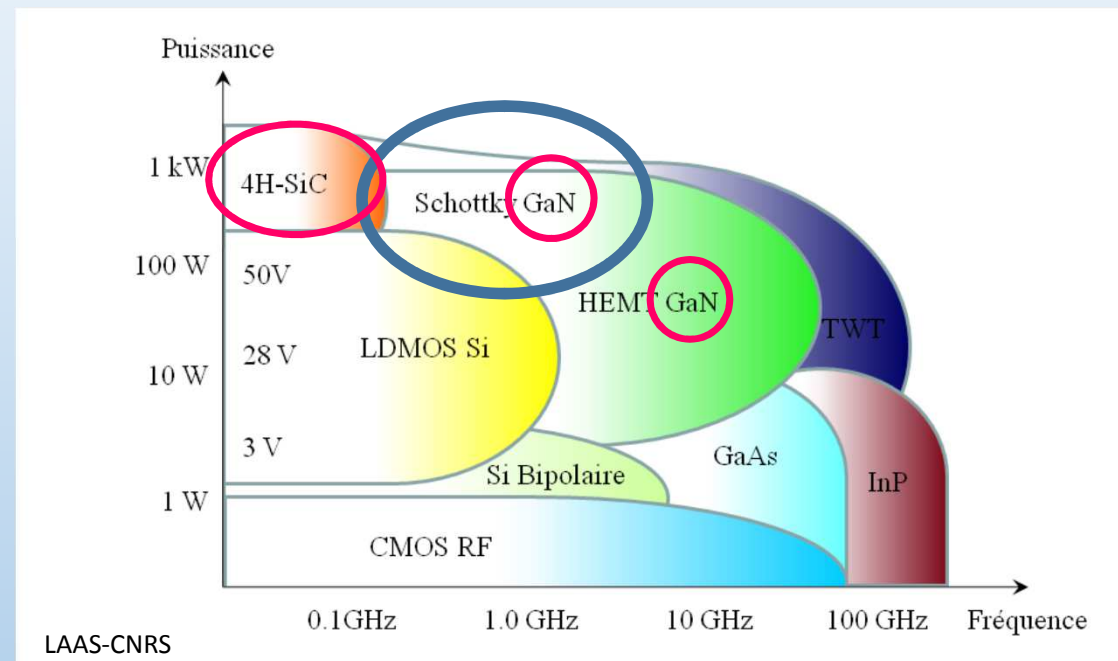
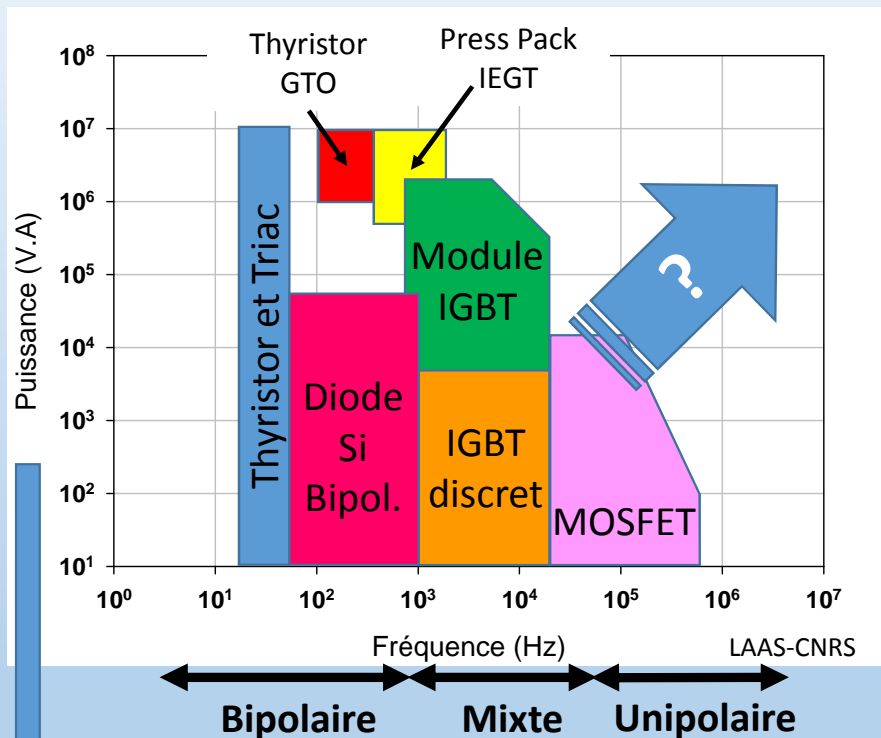
Distribution d'Electricité



- Haute puissance
- Haute fréquence
- Haute température
- Economie (pertes à la commutation)

Etat actuel et perspectives

Les matériaux « Grand Gap »



Puissance commutée: produit de la tension de blocable par le courant maximum admissible à l'état passant.

Pourquoi le SiC, le GaN ou le diamant

A 300 K et à faible dopage

	Si	SiC (4H)	GaN	Diamant (C)
E_c (MV.cm ⁻¹)	0,3	3	3,39	10
μ_n (cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹)	1500	980	1250	2200
μ_p (cm ² .V ⁻¹ .s ⁻¹)	450	120	30	2000
E_g (eV)	1,12	3,3	3,39	5,5
T_{max} (°C)	125	500	650	700
λ (W.cm ⁻¹ .K ⁻¹)	1,3	5	1,3	20
BFM (ratio/Si)	1	134	677	4555
SFM (ratio/Si)	1	12,8	26,6	1520

Facteur de mérite de Baliga

$$BFM = \epsilon_r \mu E_C^3$$

Facteur de mérite de Schneider

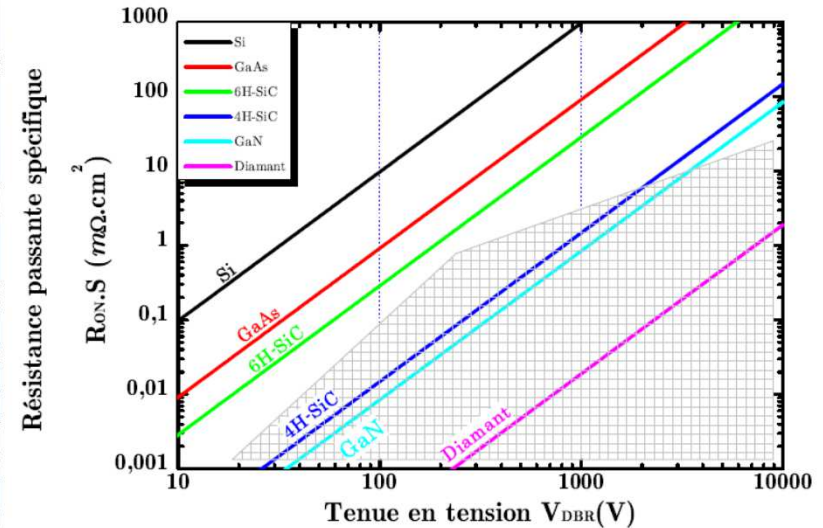
$$SFM = E_C.(\mu_n + \mu_p).\lambda.T_{max}$$

➡ **Le GaN est bien adapté à l'électronique de puissance**
Une condition: épitaxié sur Si

Le

Le SiC
bonne

Le dia



➤ **Faibles dimensions (essentiel en 4'')**

➤ Meilleur compromis $R_{ON}S/V_{BR}$

➤ Meilleur produit P.f

Le nitrure de Gallium (GaN)

Avec un champ critique de $3,3 \text{ MV.cm}^{-1}$:

Des composants plus petits mais toujours ,voire plus, performants,
Gain de place.

Avec un trr (temps de recouvrement inverse) du GaN:

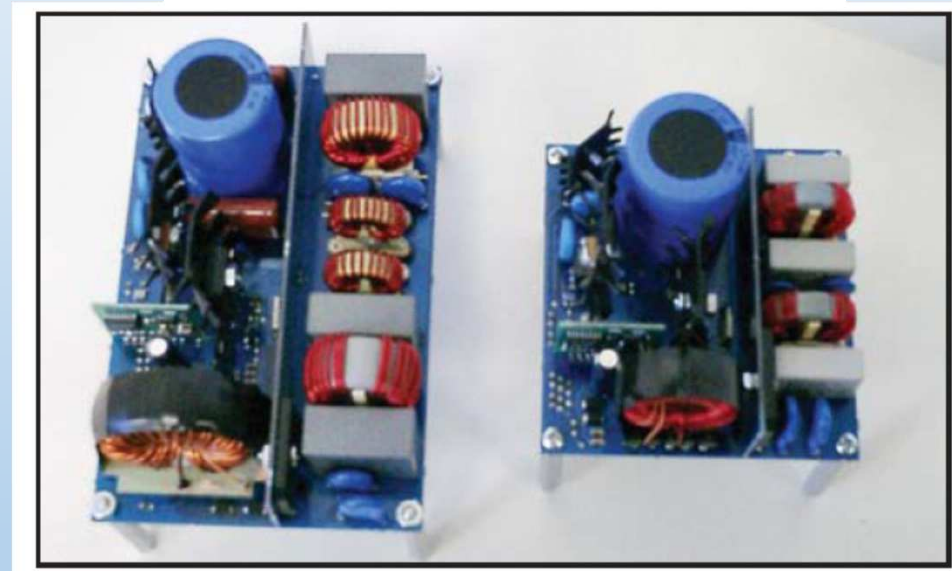
Très faible (même inférieur au SiC):

Faibles pertes à la commutation donc économie
d'énergie

Indépendant de la température,

Aucun effet de (di/dt) ,

Indépendant du niveau de courant.

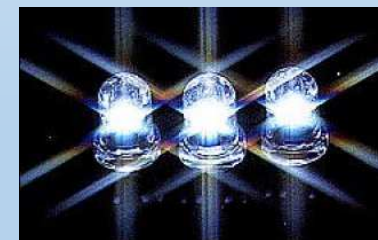
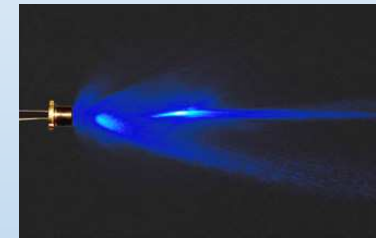
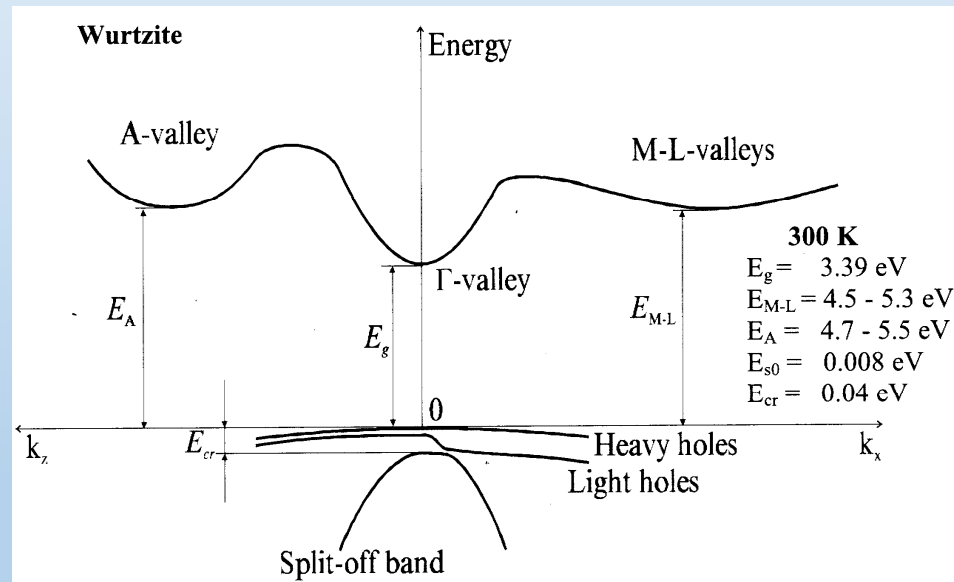


Une économie de 2TWH/an juste sur la Schottky des PFC

Le nitru de Gallium (GaN)

Avec une bande interdite directe de 3,4eV:

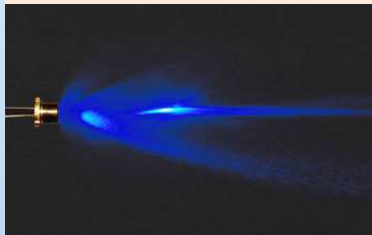
Des applications en optique: Laser/LED blanches et bleus.



Le nitruure de Gallium (GaN)

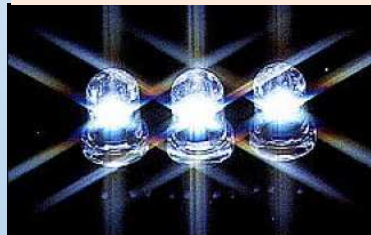


Diode Laser



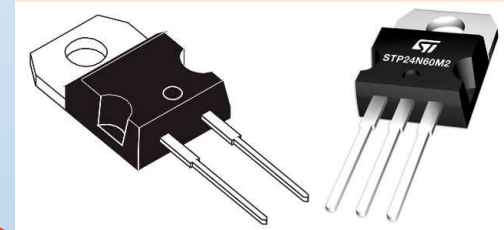
Projecteurs
Blu-ray
Industrie et Médical

**LED blanche/bleue
haute luminosité**



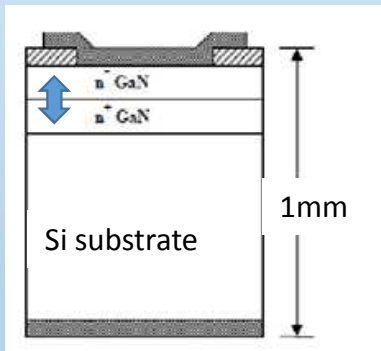
Eclairage général
Basse consommation
Véhicules

Composants de puissance

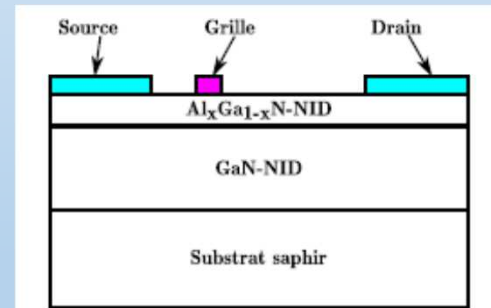


Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

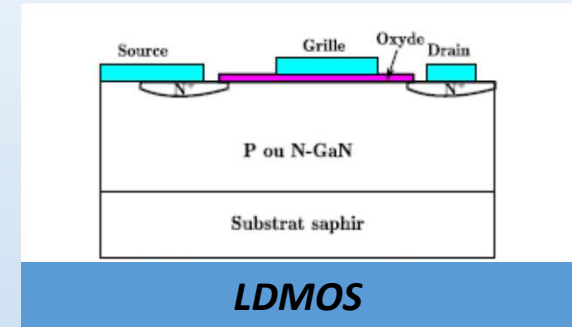
Les composants de puissance sur GaN



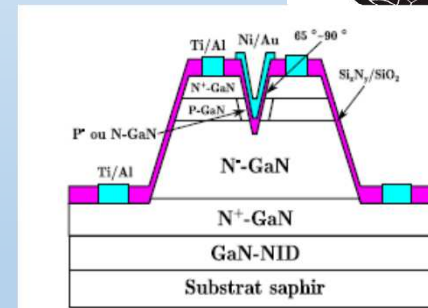
Diode Schottky



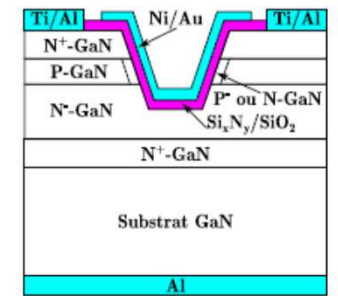
Transistor HEMT



LDMOS

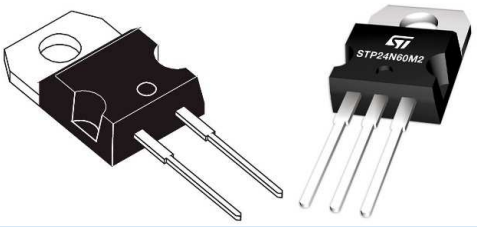


MOSFET



Les composants de puissance sur GaN

Composants de puissance



Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

Le GaN peut être épitaxié sur des substrats « bas coût » (Saphir ou encore mieux silicium car compatible avec les technos actuelles).



Des progrès perpétuels sur la croissance du GaN :

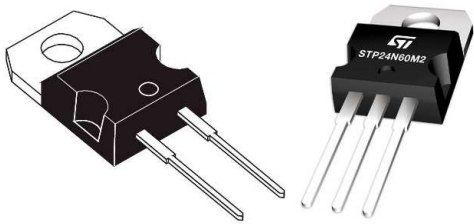
- Disponible en 2, 3, 4" (sur substrat Saphir) ou 6 et même 8" (sur substrat Silicium),
- Des couches de plus en plus épaisses,
- Une qualité cristalline améliorée.



Intérêt croissant pour ce matériau

Les composants de puissance sur GaN

Composants de puissance



Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

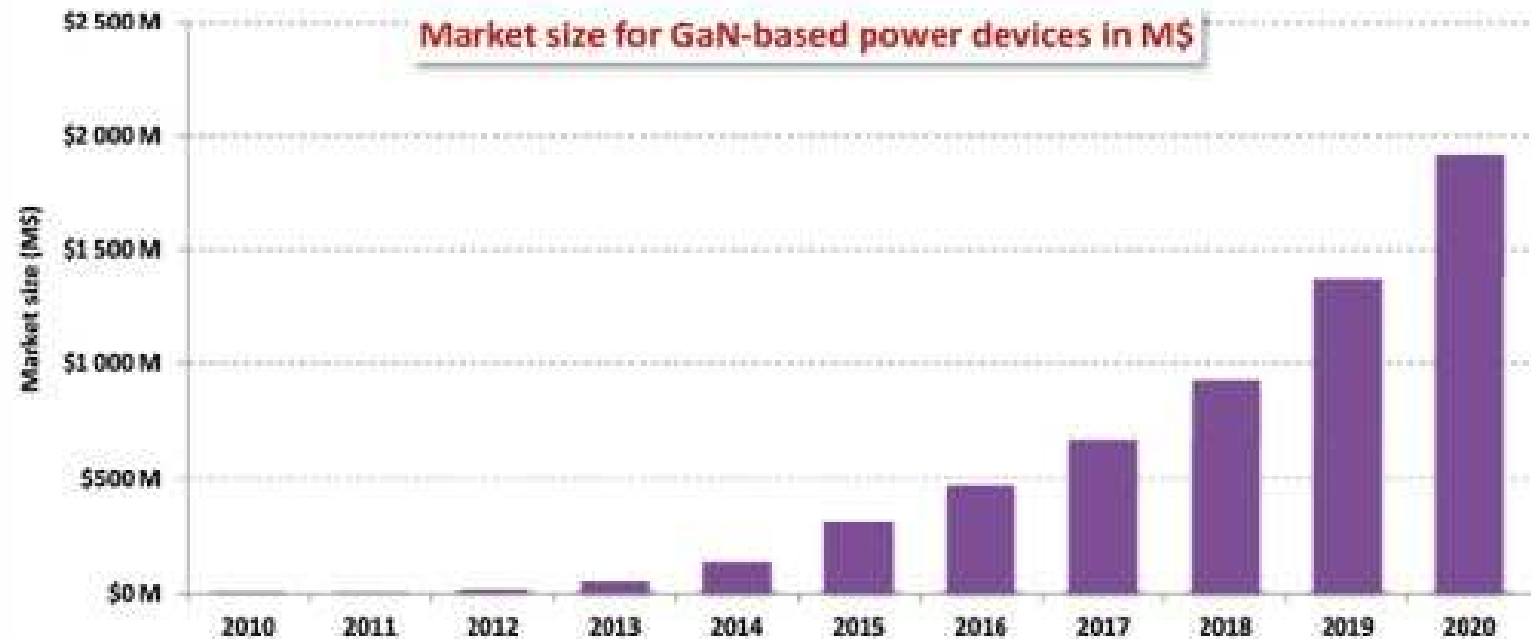
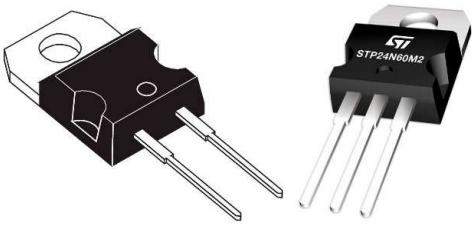


Figure 1: GaN could exceed 5% of the overall power device market by 2020...

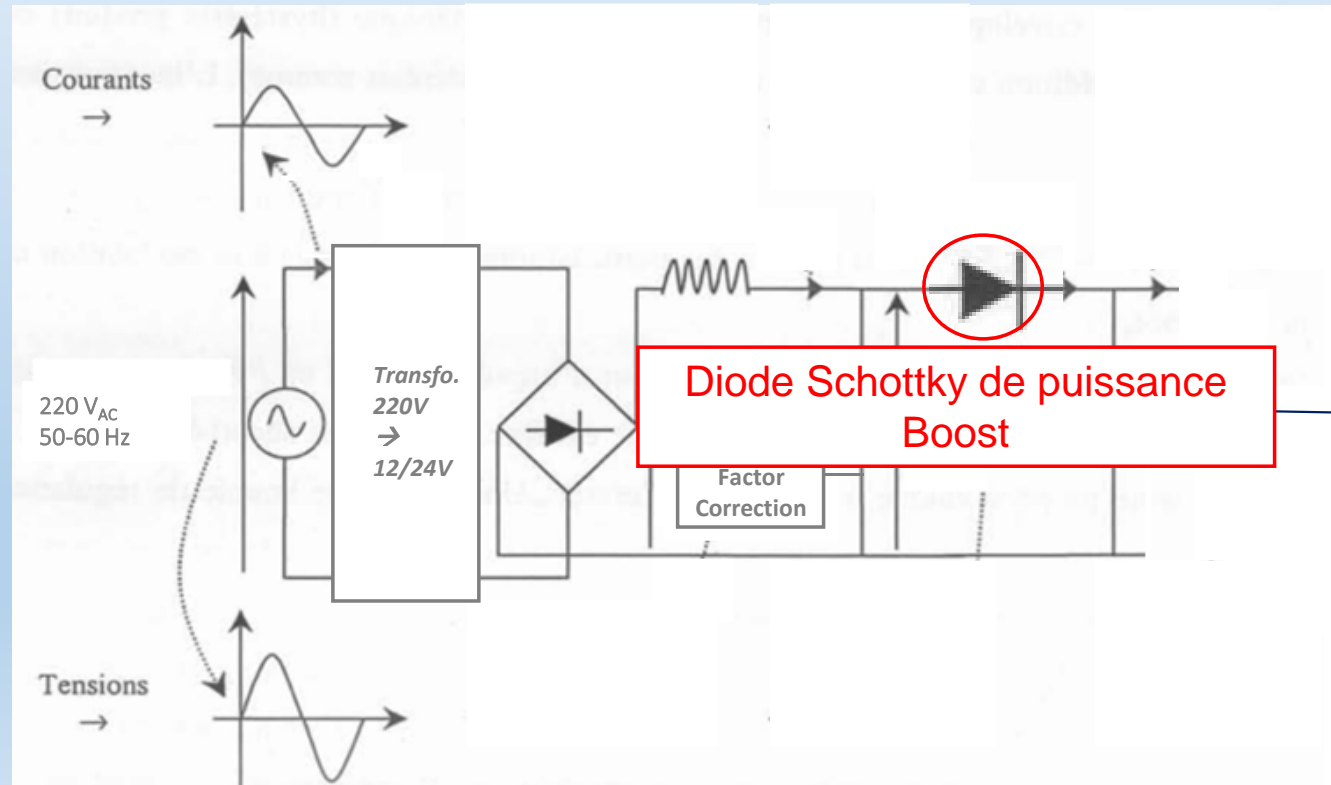
La diode Schottky GaN

Composants de puissance

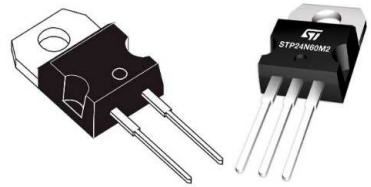


Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

**Une application typique: le PFC
Power Factor Corrector**

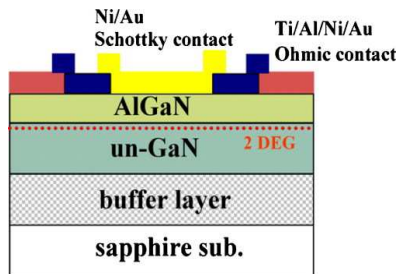


Composants de puissance



La diode Schottky GaN Plusieurs architectures

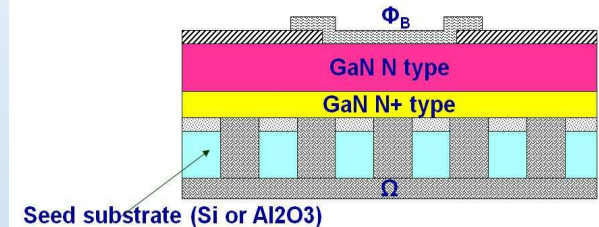
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque



Structure Laterale

(based on HEMT integrating AlGaN layers)

Et une
déclinaison de
structures
intermédiaires

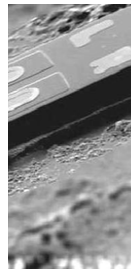


Vers la Structure Verticale (avec via traversants)

Structure basée sur un effet piézoélectrique de la bicouche GaN/AlGaN: accumulation d'électrons à l'interface (gaz 2D principe du HEMT). L'avantage: une faible épaisseur de GaN non dopé est nécessaire.

Problème: le Normally Off !!

(presented by Powdec)



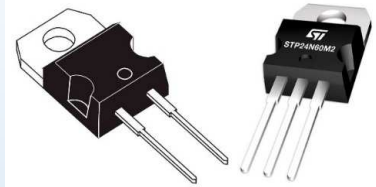
ale

Structure basée sur un structure Si classique. Problème: avoir une forte épaisseur de GaN épitaxié sur un substrat Si (gravure des trenches, fragilité de la plaque, reprise de contact, GaN fortement dopé)



3: Anode

Diode hybride ou circuit cascade : Si-SBD basse tension avec GaN-HEMT haute tension (MicroGaN)

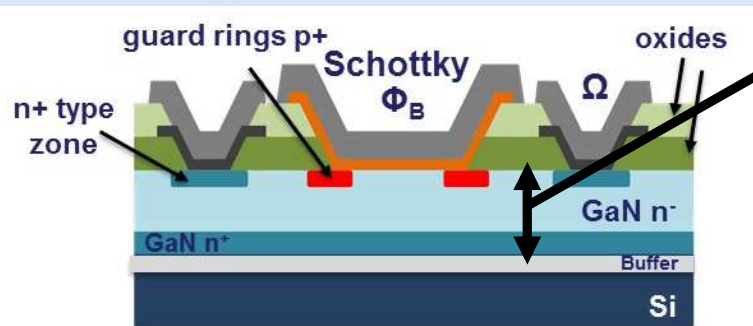


La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

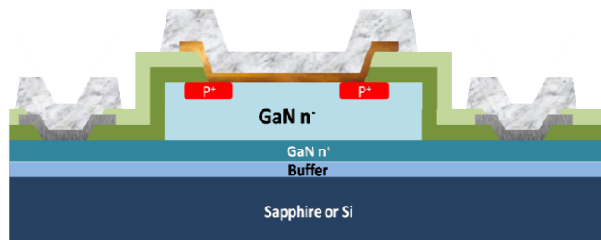
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

La diode Schottky 600 et 1200V



Structure Plane

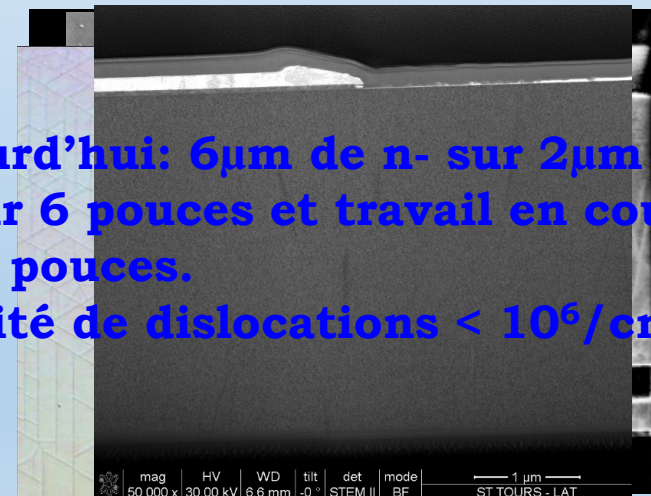


Structure Pseudo-Verticale

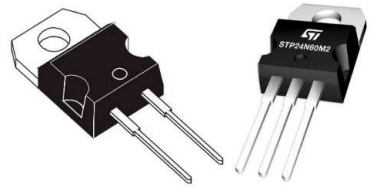
La croissance d'un GaN épais (6/7/... μm de GaN n- sur 2/3 μm de GaN n+) sur le bon substrat (Si)

$$E_c = 339 \text{ V} \cdot \mu\text{m}^{-1} \text{ théorique}$$

- Aujourd'hui: 6 μm de n- sur 2 μm de n+ sur 6 pouces et travail en cours sur 8 pouces.
- Densité de dislocations < $10^6/\text{cm}^2$



Composants de puissance



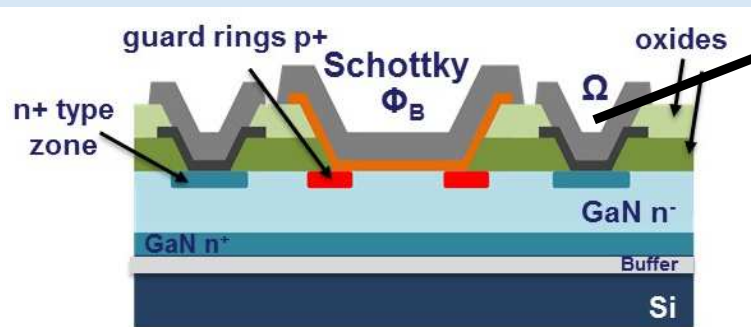
La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

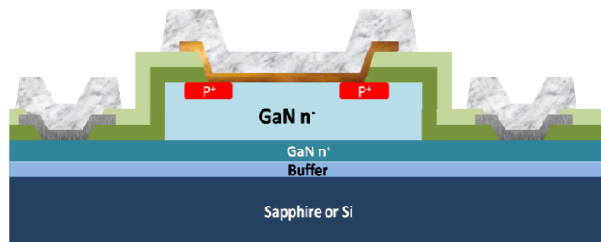
2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015

Les défis:

Un contact ohmique (SCR minimale)

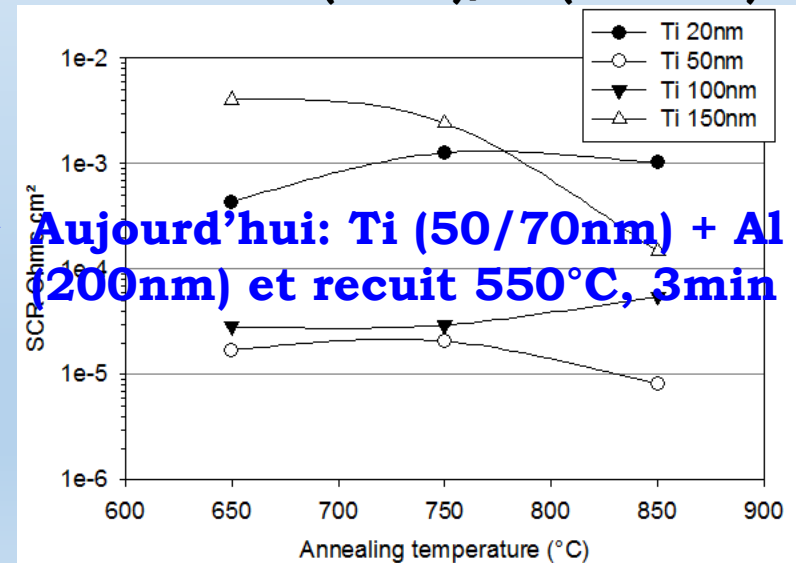


Structure Plane

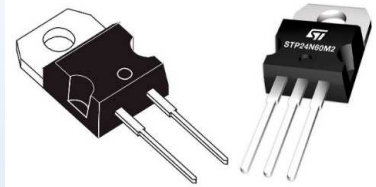


Structure Pseudo-Verticale

Contact Ti (Xnm)/Al (200nm)



➤ Aujourd'hui: Ti (50/70nm) + Al (200nm) et recuit 550°C, 3min

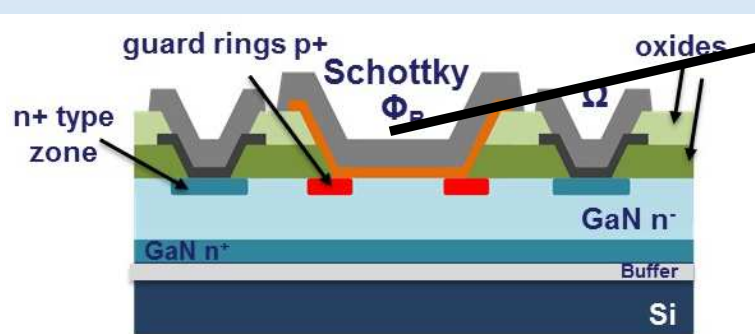


La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

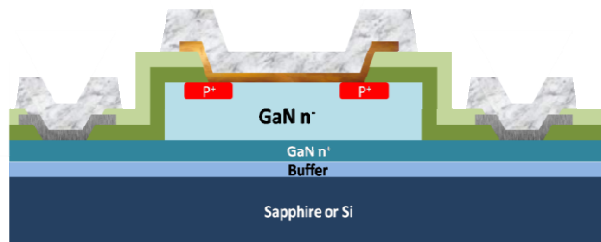
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015

Les défis:



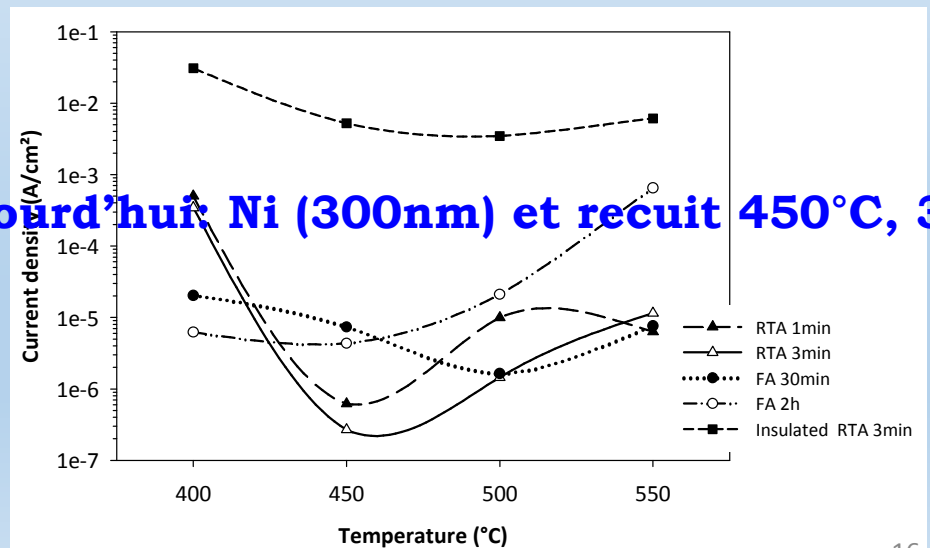
Structure Plane



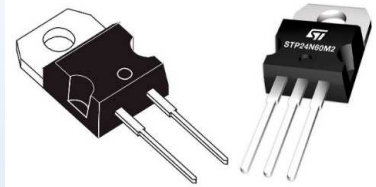
Structure Pseudo-Verticale

Un contact Schottky optimal (hauteur de barrière et facteur d'idéalité)

Contact Ni (300nm)



➤ Aujourd'hui Ni (300nm) et recuit 450°C, 3min



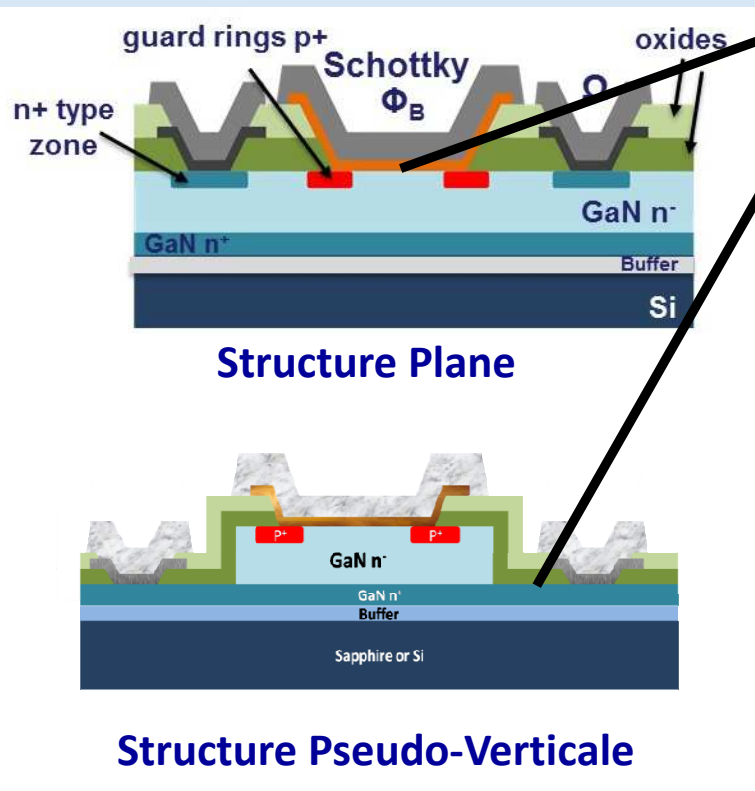
La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

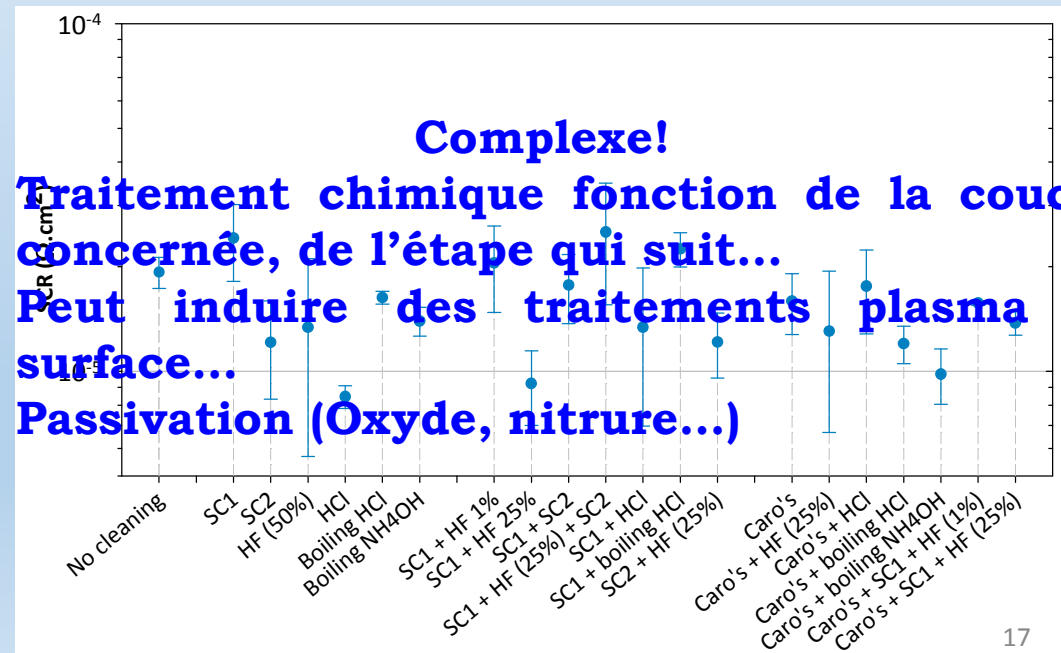
2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015

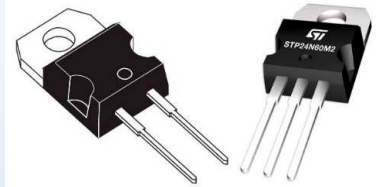
Les défis:

Un état de surface parfait pour limiter les courants de fuite, améliorer les contacts



- **Traitement chimique fonction de la couche concernée, de l'étape qui suit...**
- **Peut induire des traitements plasma de surface...**
- **Passivation (Oxyde, nitrure...)**





La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

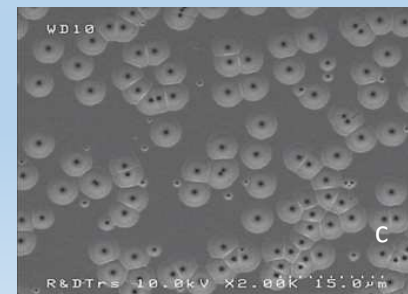
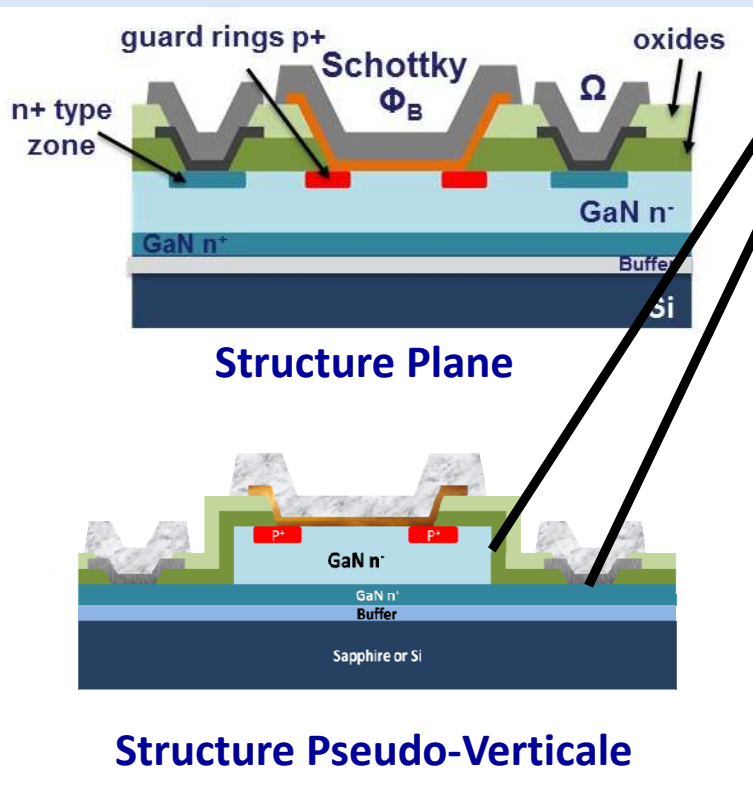
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015

Les défis:

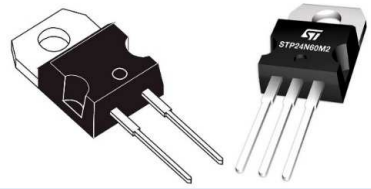
Une gravure sans défaut de fond de couche,
avec des flancs parfaits.

Gravure IBE versus RIE



Gravure IBE profonde bien maîtrisée

- a) Masque SiO₂ pour gravure IBE
- b) Gravure de 6μm de GaN avec fond de gravure parfait
- c) Surface de GaN endommagée par une gravure RIE



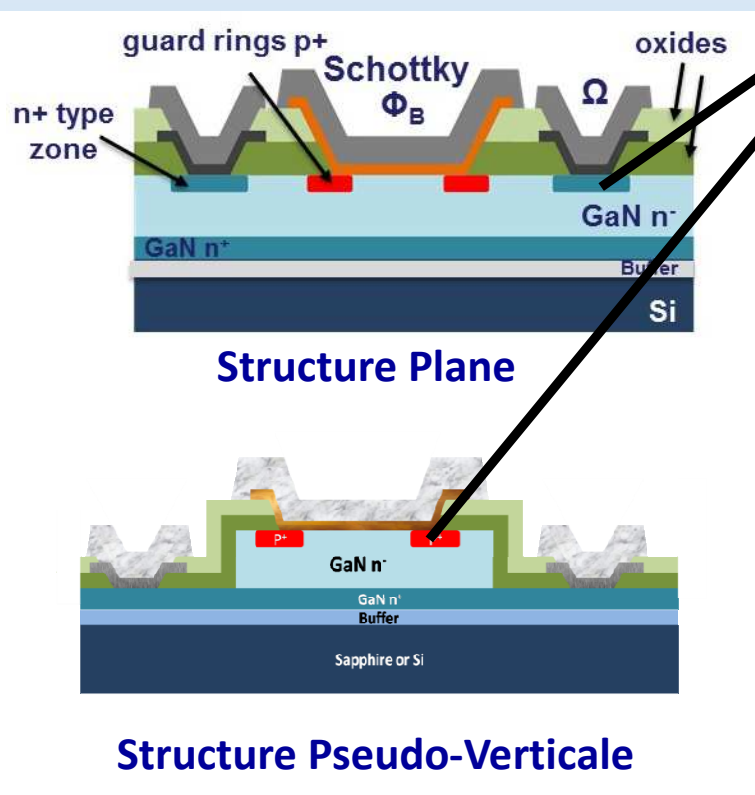
La diode Schottky GaN

La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

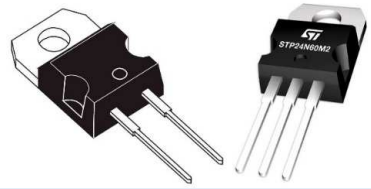
Les défis:



Un dopage localisé: Anneaux de garde.
But: repousser les lignes de champs, retarder le claquage, V_{br} plus grand.

- **Implantation ionique =**
 - **Formation de défauts**
 - **Recuit haute T° obligatoire ($>1100^\circ\text{C}$)**
 - **Destruction du GaN dès 820°C**
- **Couche de protection avant recuit**

Composants de puissance



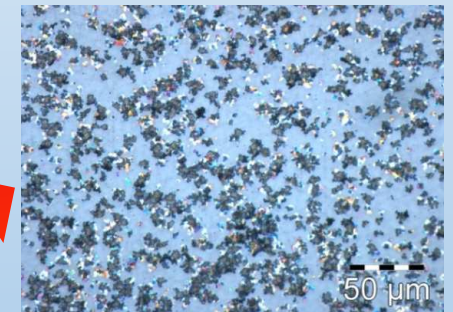
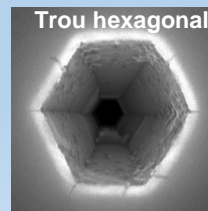
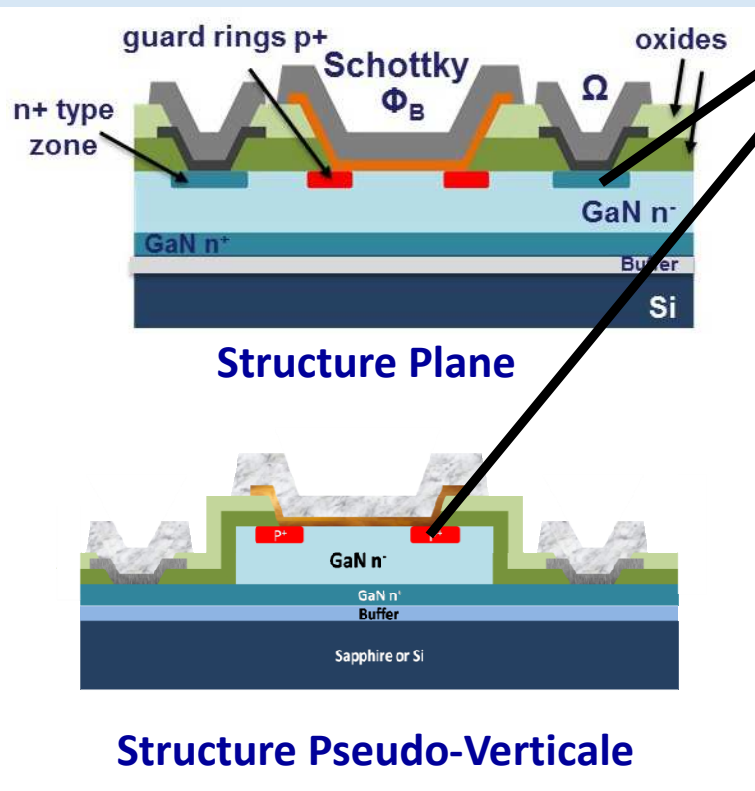
La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

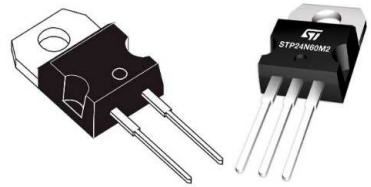
**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

Les défis:

**Un dopage localisé: Anneaux de garde.
But: repousser les lignes de champs, éviter
ou retarder le claquage, V_{br} plus grand.**



Composants de puissance



La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

Les défis:

➤ **Un dopage localisé: Anneaux de garde.**
But: repousser les lignes de champs, éviter ou retarder le claquage, V_{br} plus grand.

➤ Cap-layer

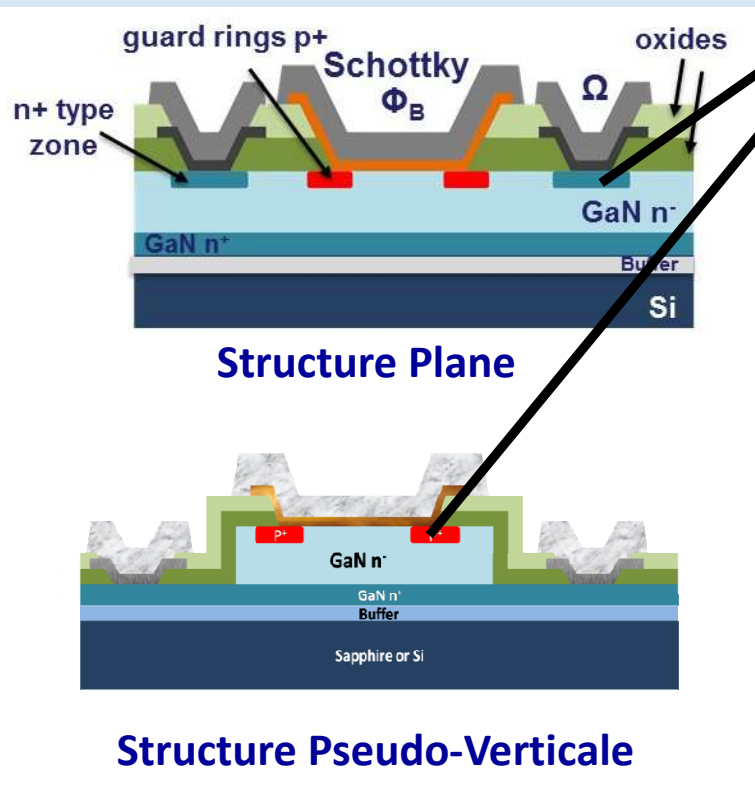
Cap-layer

GaN n^- (5 μm)

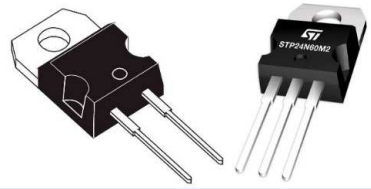
GaN n^+ (2 μm)

Buffer (5 μm)

Substrat Si (1,3 mm)



Composants de puissance



La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

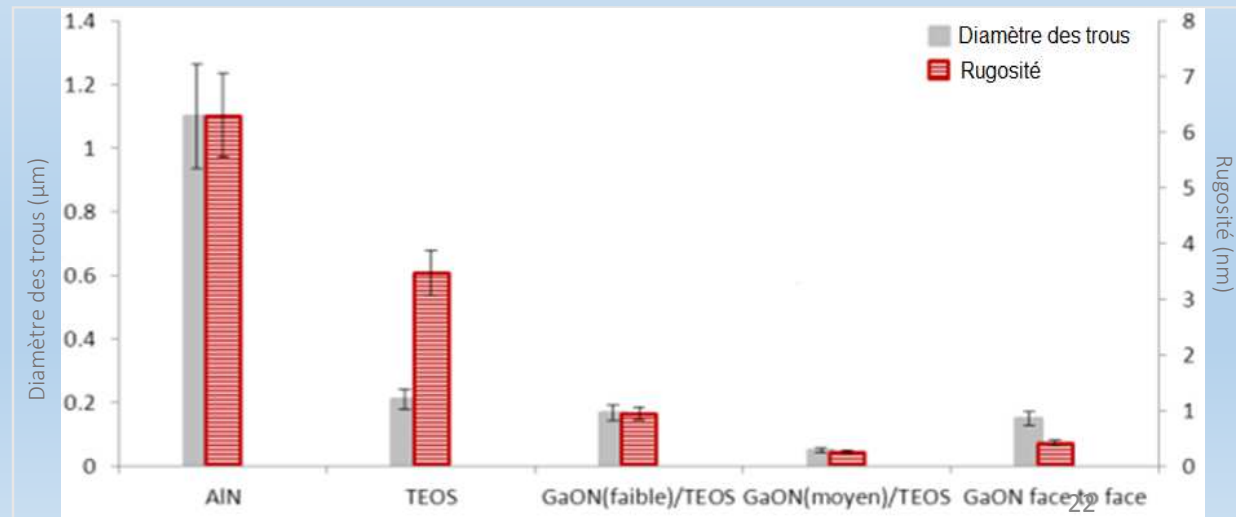
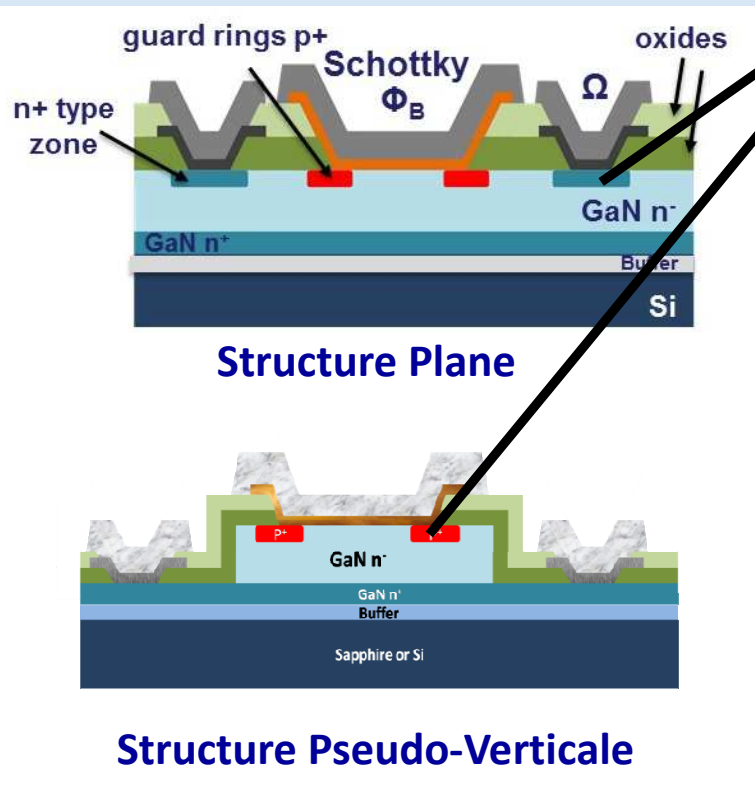
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

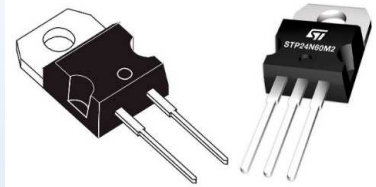
**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

Les défis:

➤ **Un dopage localisé: Anneaux de garde.**
But: repousser les lignes de champs, éviter ou retarder le claquage, V_{br} plus grand.

➤ **Cap-layer**



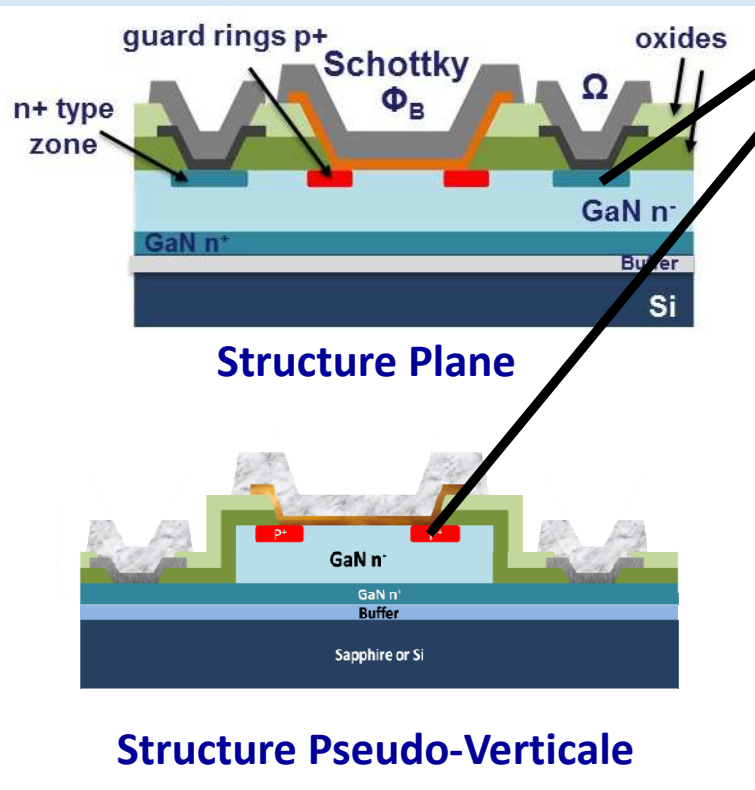


La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

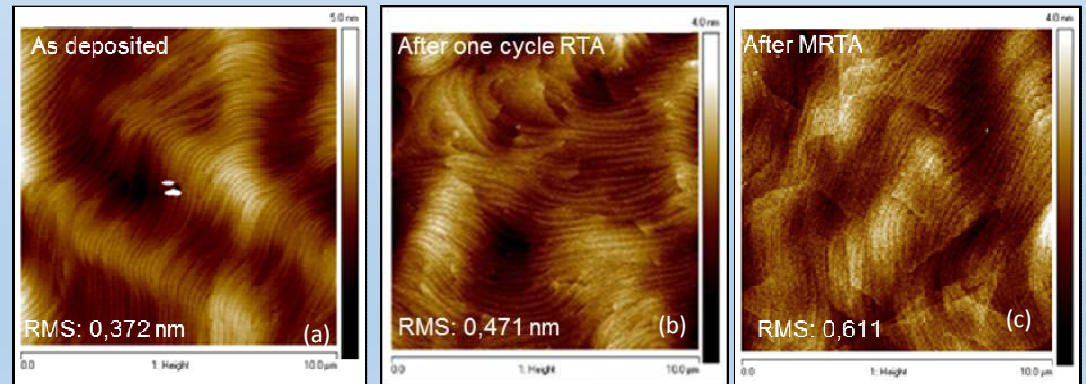
**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

Les défis:



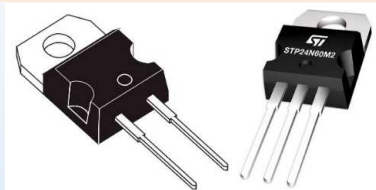
**Un dopage localisé: Anneaux de garde.
But: repousser les lignes de champs, éviter
ou retarder le claquage, V_{br} plus grand.**

➤ **Cap-layer**



Images AFM 10 x 10 μm^2 d'un échantillon AlN (a) non recuit,
(b) après un cycle RTA et (c) après un multi cycle RTA

Composants de puissance

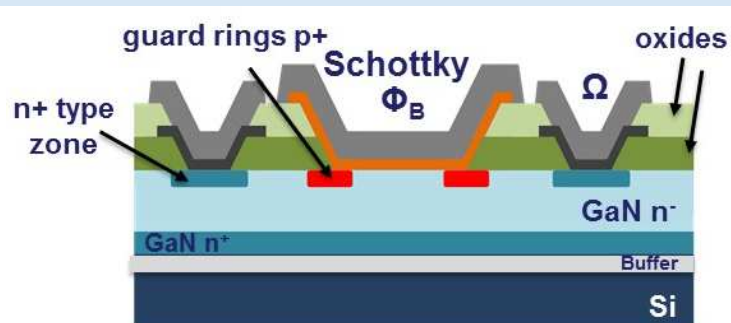


La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

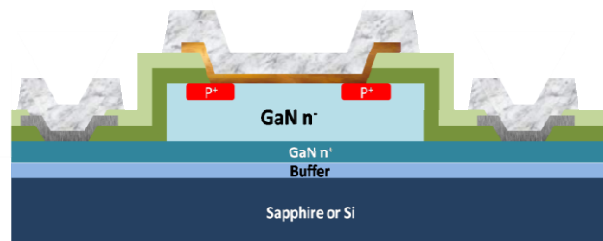
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

Les défis:



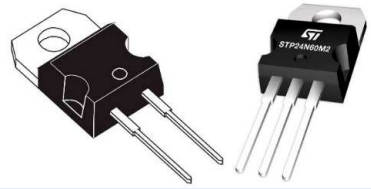
Structure Plane



Structure Pseudo-Verticale

Etapes	Validation
Croissance du GaN	✓
Gravure du GaN	✓
Contacts Ohmique et Schottky	✓
Traitements de surface, attaques chimiques ou physique	✓
Passivation	✓
Dopage localisé	✓

Composants de puissance

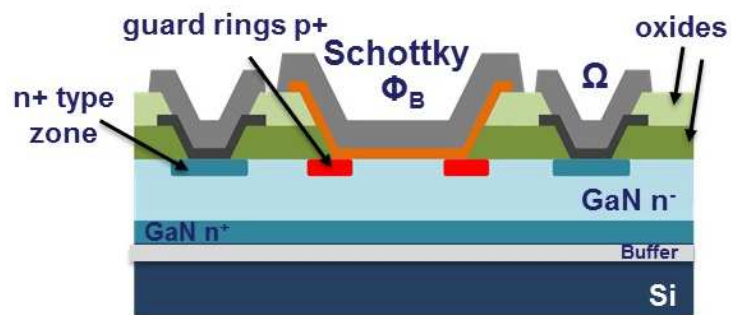


La diode Schottky GaN La structure GREMAN/ST

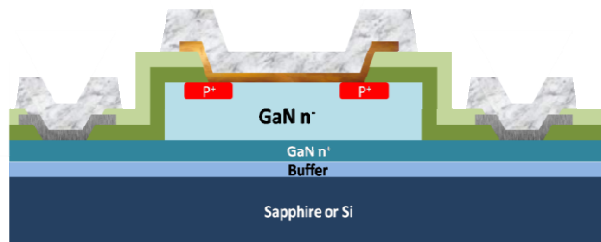
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015

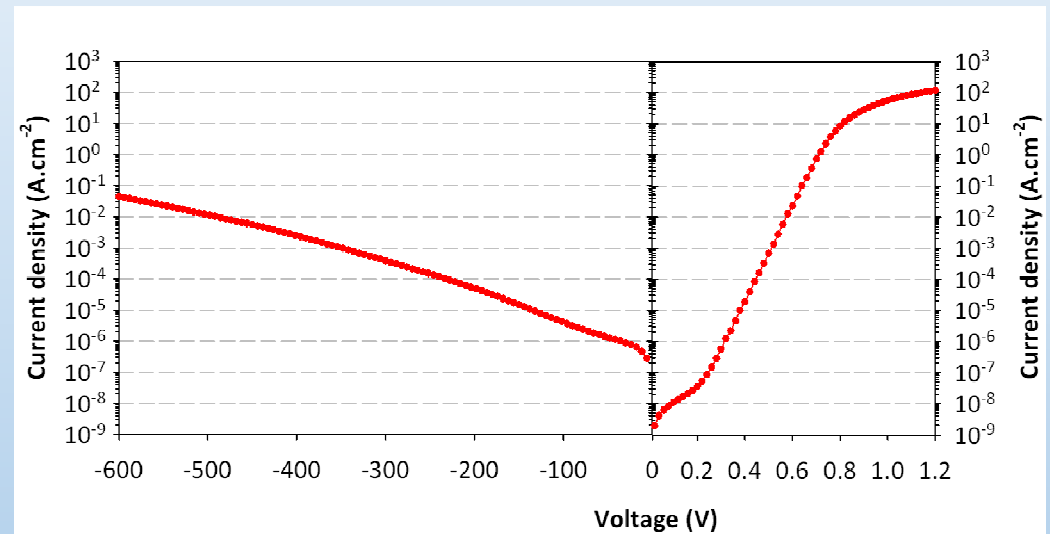
Les défis:



Structure Plane



Structure Pseudo-Verticale



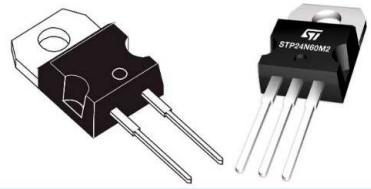
La diode Schottky a les caractéristiques attendues

Caractéristiques en directe:

$V_{BR} > 600V$, $\Phi_B = 1,1eV$ and $n=1,09$

I_r @ 600V trop élevé (compare au SiC)

Composants de puissance



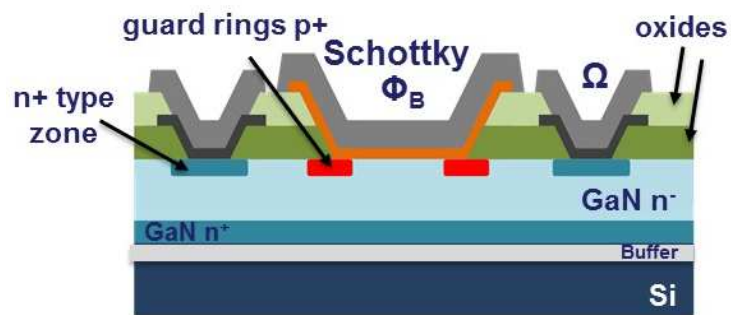
La diode Schottky GaN

La structure GREMAN/ST

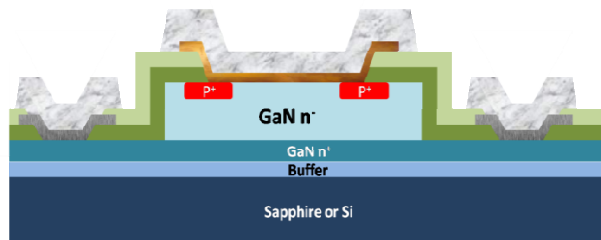
Alimentation, PFC
Véhicules hybrides
Conversion photovoltaïque

**2 projets nationaux:
G2REC et TOURS 2015**

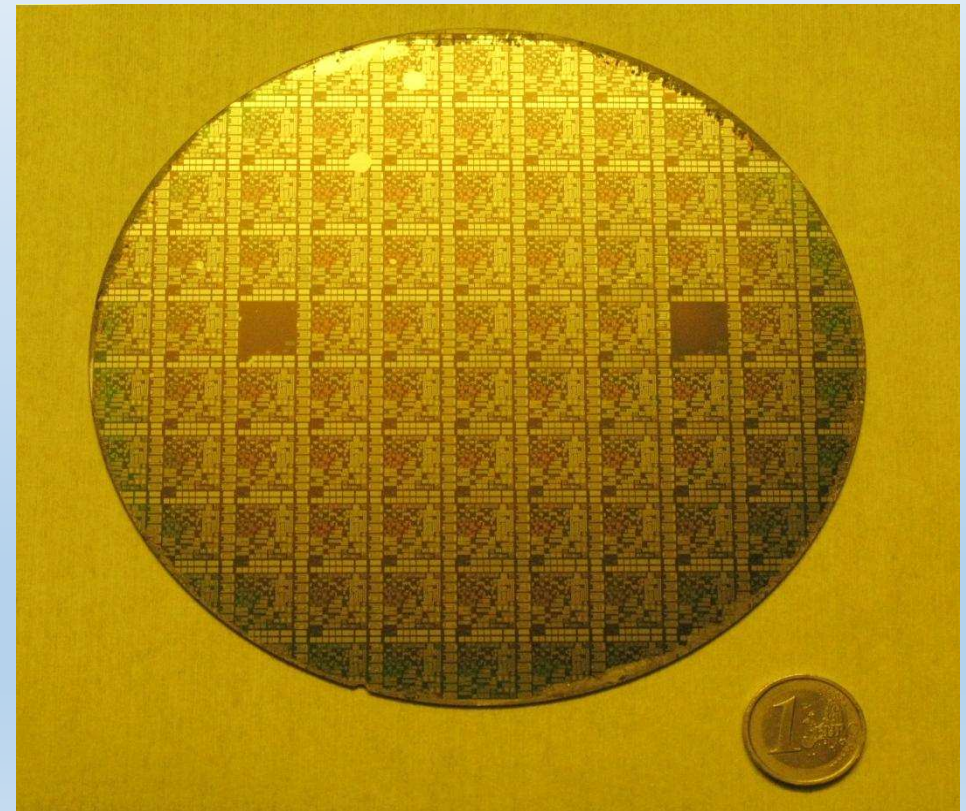
Les défis:



Structure Plane



Structure Pseudo-Verticale



→ First wafer GaN/Si 6" !!



Composants de puissance sur matériaux « grand gap »:

Intérêts, applications et développements en cours pour le GaN

Séminaire technologique sur l'électronique de puissance

ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Enjeux et solutions innovantes d'un marché en plein essor

Jeudi 12 juin 2014

à Polytech' Saint-Nazaire

