

Les technologies BAW : évolution et applications au travers des projets européens STREP-IST



E.Kerhervé (IXL), P. Ancsey (ST), M. Aid (LETI), A. Kaiser (IEMN)

GDR Ondes, Besançon 21-23 Novembre 2005

Plan

- Contexte
- Technologies BAW
- Projet IST FP5 MARTINA
- Projet IST FP6 MIMOSA
- Projet IST FP6 MOBILIS
- Plateforme CNRS "BAW IC"
- Conclusion

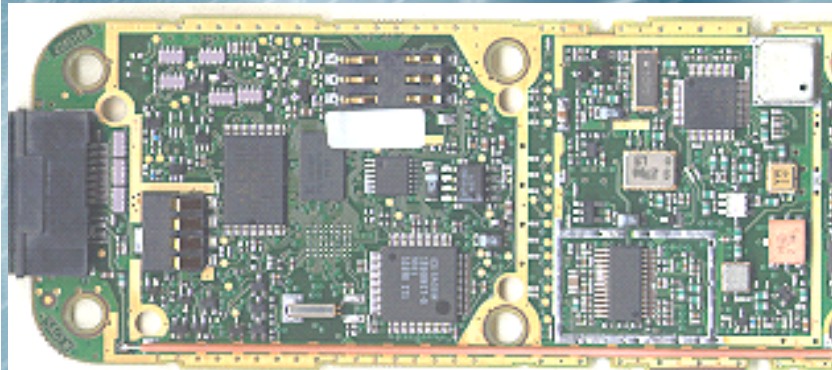
Contexte

Dual Band 900 MHz / 1.8 GHz

Hétérogénéité = challenges

**Co-Intégration ICs, passifs et RFMEMS
Partitionnement & co-design HW/SW**

Intégration de l'antenne / codesian avec

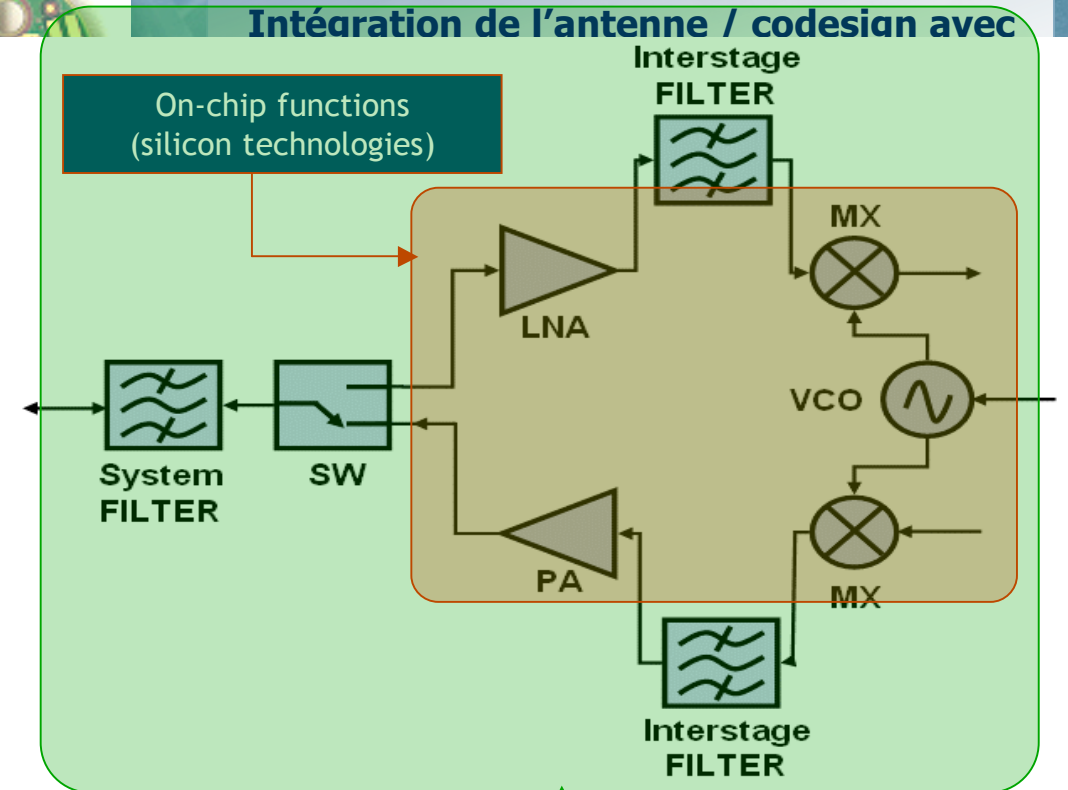


**280 composants discrets passifs pour
15 ICs.**

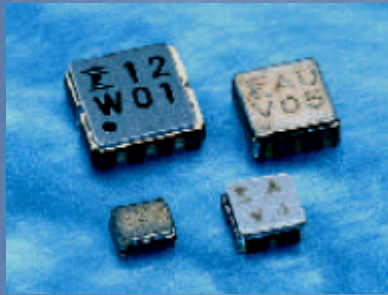
80% des composants sont passifs !

+

**WCDMA
802.11.x: WLANs
802.16a: WIMAX ...**



RF filter technologies



SAW Filters

size: 3x3x1 mm
insertion loss: 2.5~3 dB
rejection: ~30 dB

Frequency limit:
3 GHz

Power handling
capability:
1 W

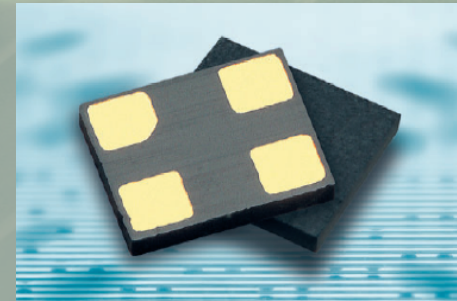


Ceramic Filters

size: 4x4x2 mm
insertion loss: 1.5~2.5 dB
rejection: >35 dB

Large size

Trade-off:
size x insertion loss



FBAR Filters

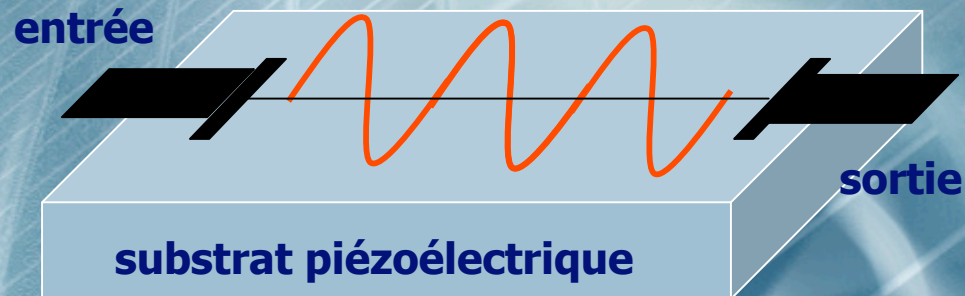
size: 1.5 x 2 x 0.6 mm
insertion loss: 1.5~2.5 dB
rejection: ~40 dB

Power handling
capability:
3 W

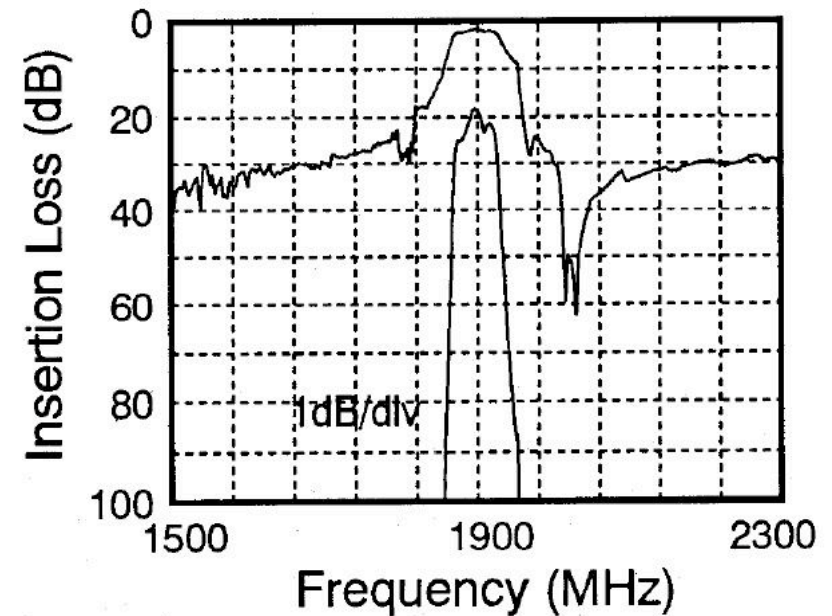
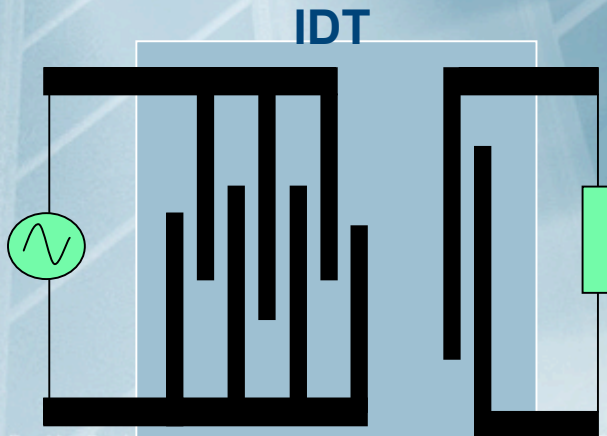
Frequency limit
up to 16 GHz

compatible
with VLSI-CMOS
processes

Technologie SAW

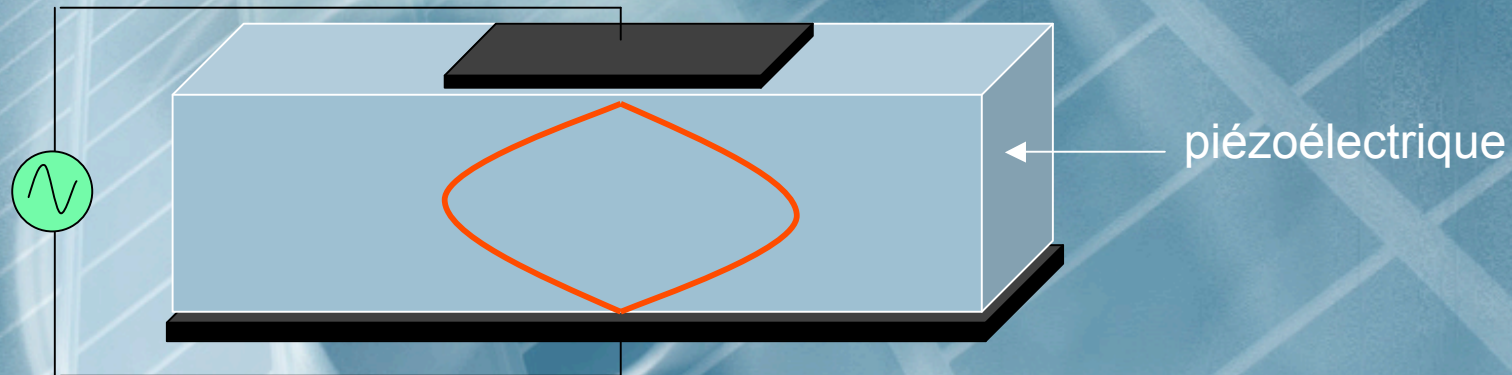


- onde acoustique guidée par la surface
- pertes de propagation importantes
- filtres $\Rightarrow$ IDTs (FIR) ou résonateurs (Ladder ou Lattice)
- limité en fréquence et en puissance



F_0	1.9 GHz
IL	2.0 dB
BW	80 MHz
Taille	2.5x2.0x0,9 mm ³

Technologies BAW



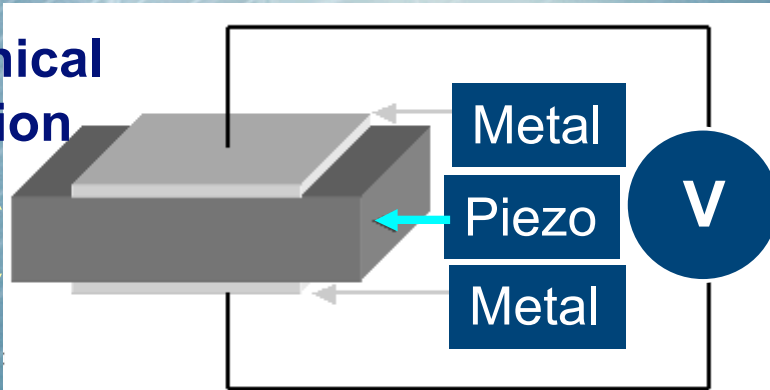
- l'onde acoustique est confinée dans le matériau piézoélectrique
- pertes de propagation moins importantes
- filtres $\Rightarrow$ résonateurs couplés électriquement (Ladder, Lattice)
résonateurs couplés acoustiquement (SCF, CRF)

Réduction de 10^4 des longueurs d'ondes $\Rightarrow$ résonateur $100\mu\text{m}$ en bande S

Très haut coefficient de qualité : 400 pour du ZnO à 900 MHz

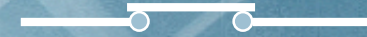
Principe de fonctionnement

Mechanical vibration

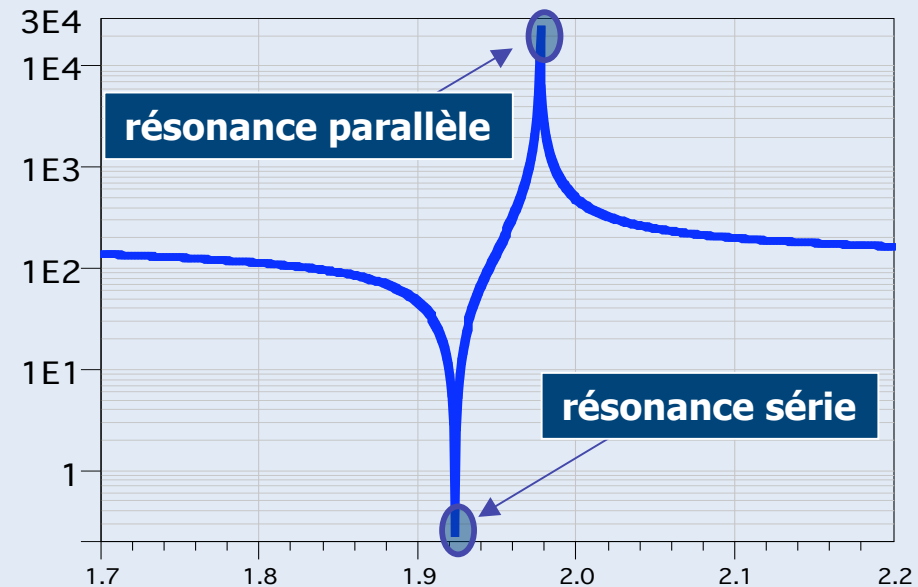


Bulk Acoustic Wave (BAW)

at resonance frequency



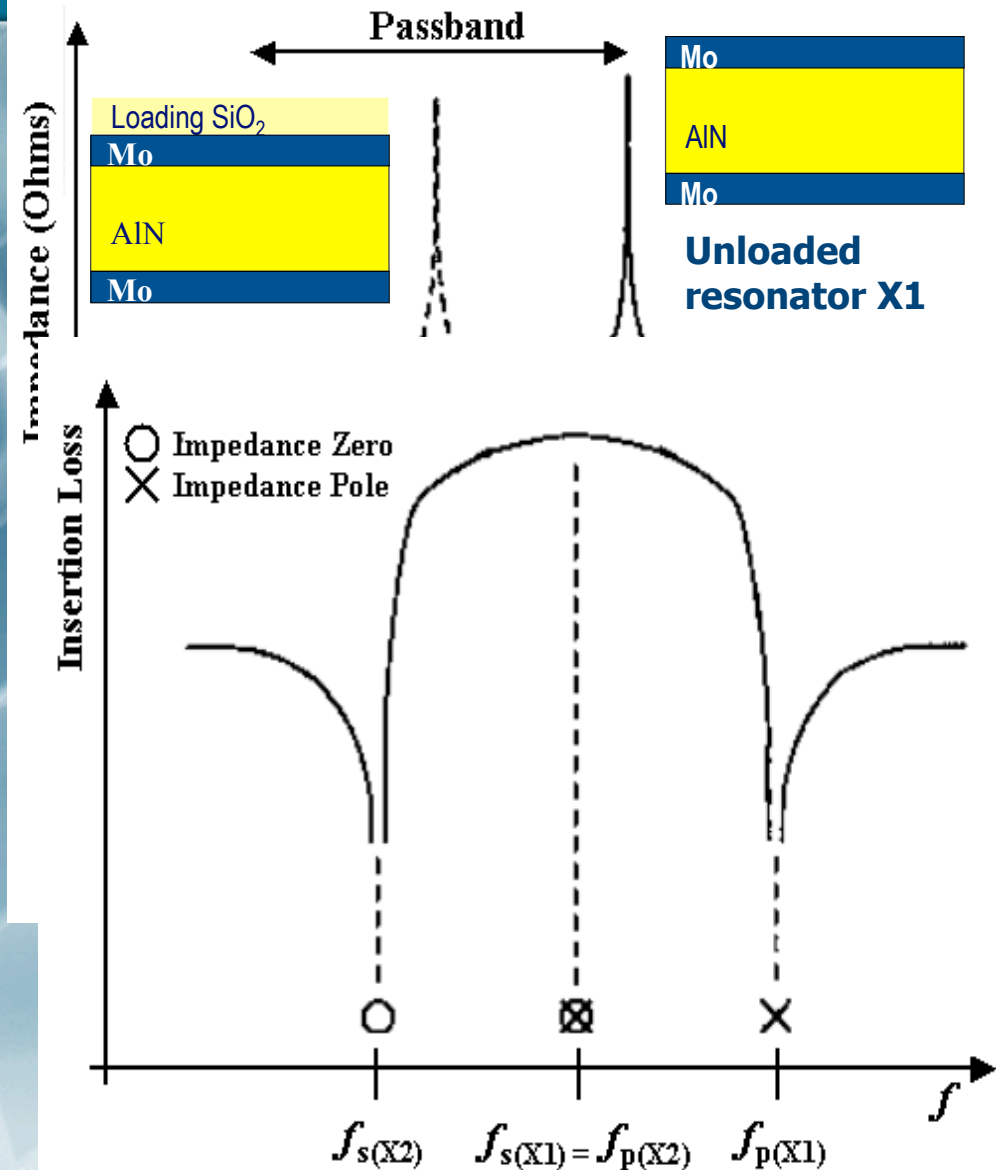
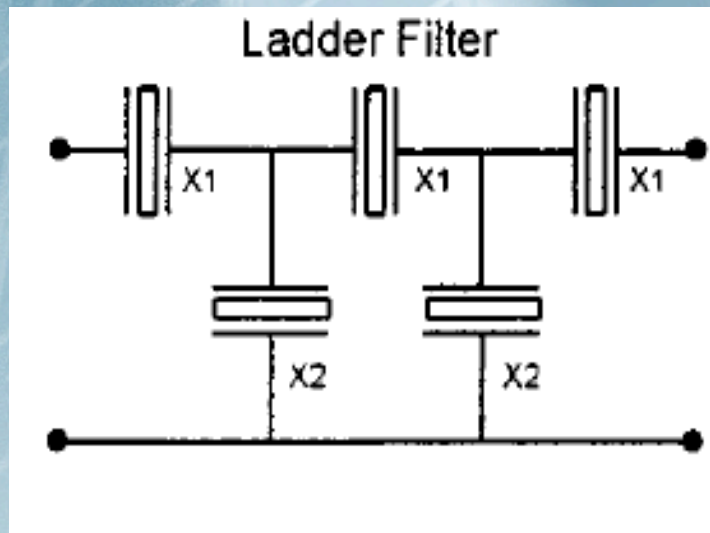
out of resonance



Filtre BAW

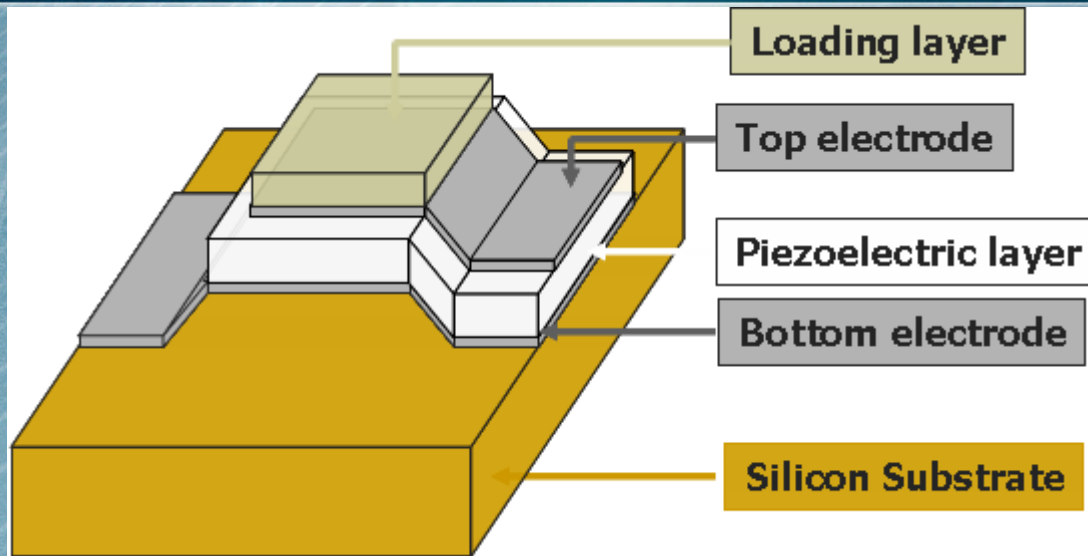
Deux sortes de résonateurs

Loading $\Rightarrow$ décalage vers les basses freq
 Epaisseur $\text{SiO}_2 \Rightarrow$ freq d'antirésonance
 de X2 = freq de résonance de X1



FBAR

(Film Bulk Acoustic Resonator)



Avantages

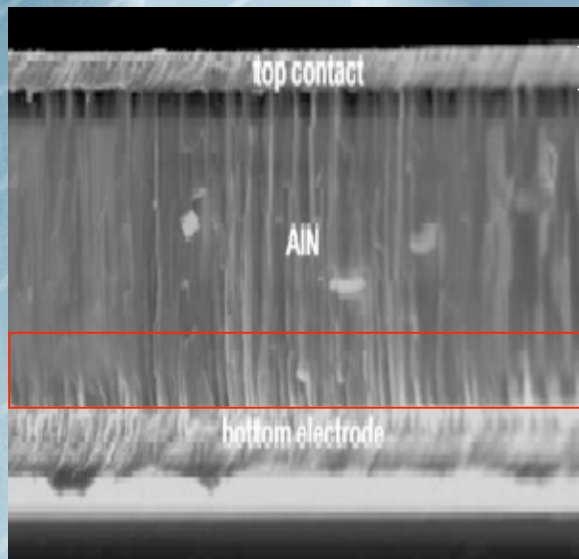
- énergie confinée dans le matériau piézoélec >> pertes moins importantes;
- peu de couches
- intégration SoC

Inconvénients

- membrane de support
- processus de fabrication
- dissipation thermique plus difficile

Fondeurs

ST, Agilent,
INFINEON

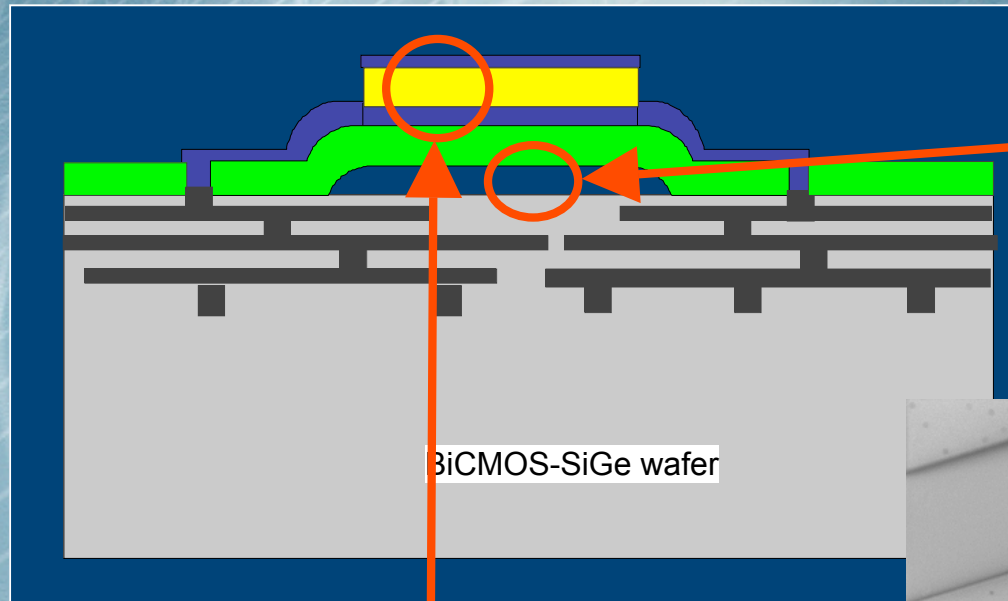


thin electrodes
high ohmic losses

thin piezoelectric layer
low material quality factor

FBAR

(Film Bulk Acoustic Resonator)



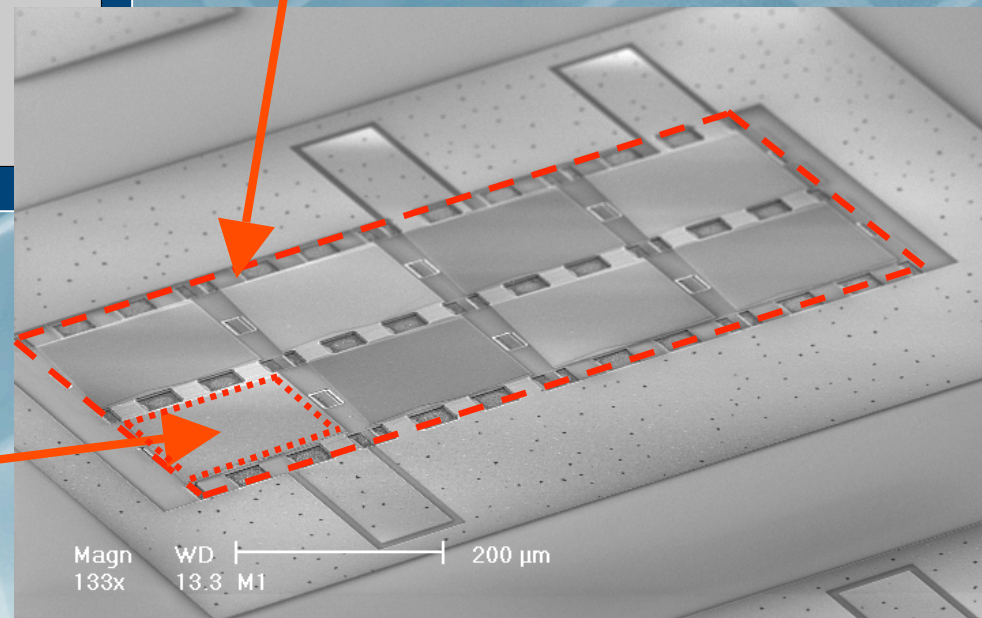
BiCMOS-SiGe wafer

Active part

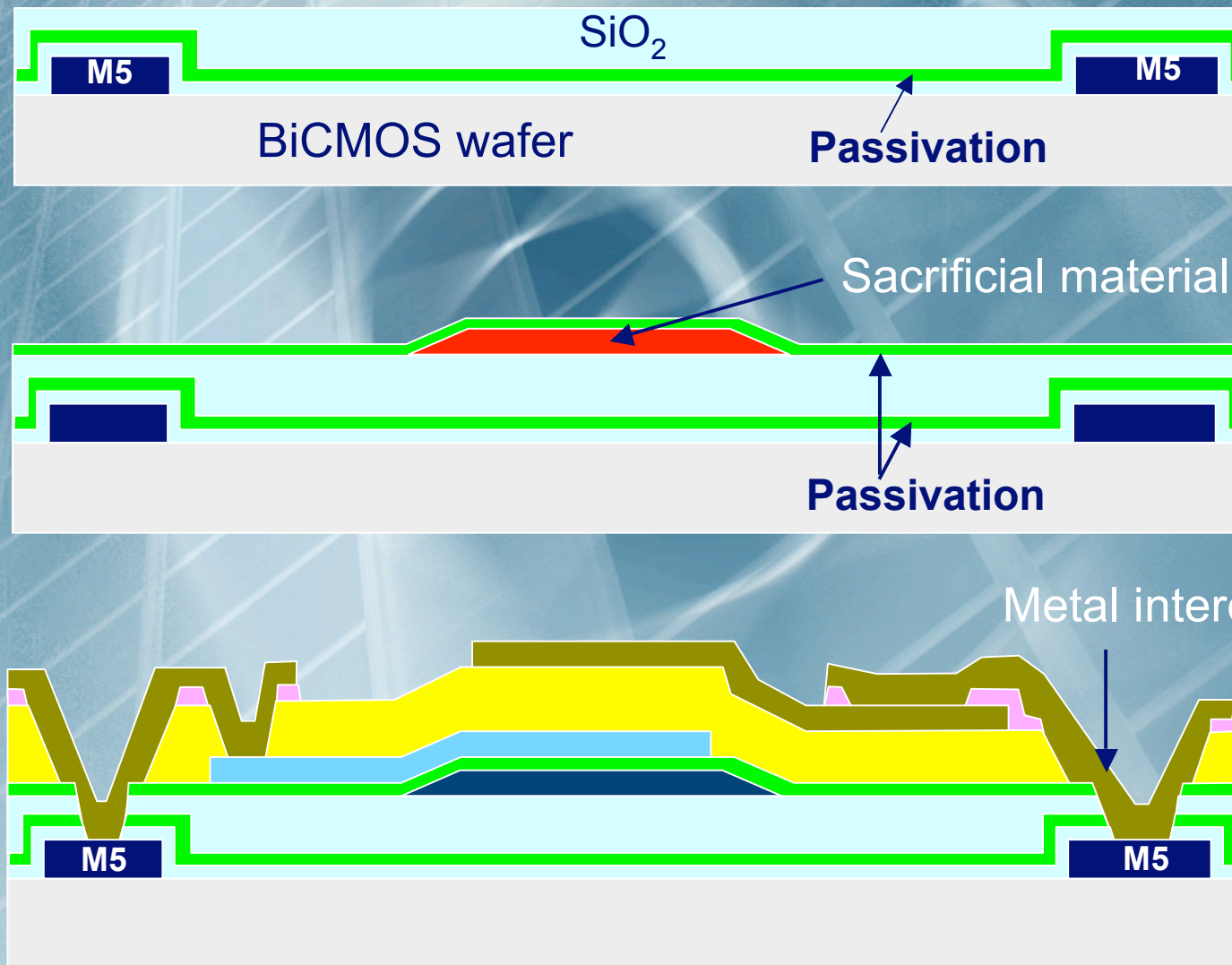
*transduction of energy
electric – mechanic - electric*

Passive part

*acoustic insulation with
membrane & air-gap*



FBAR Process Flow

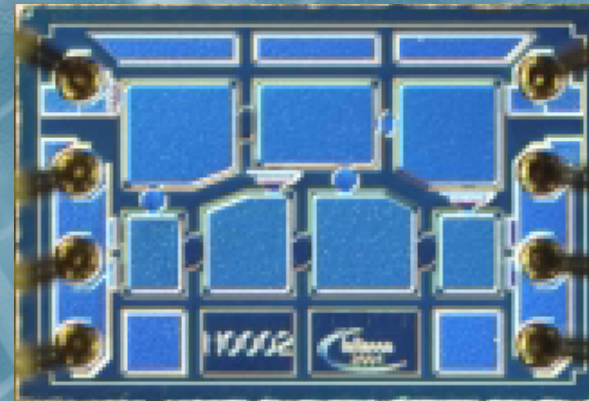
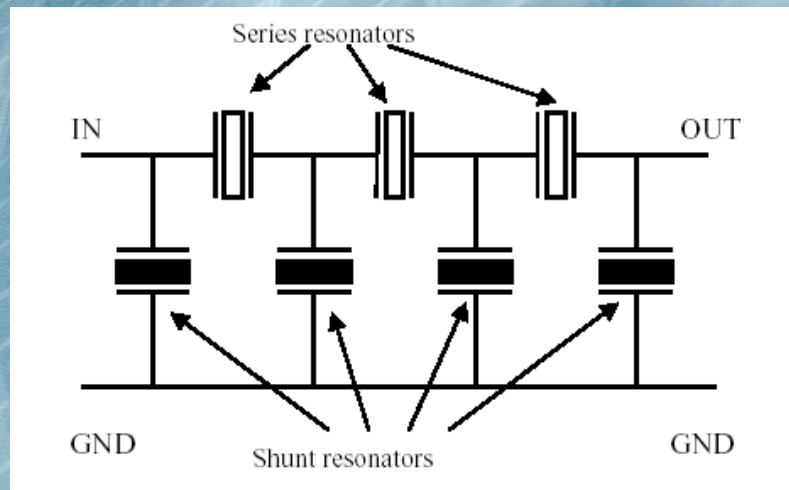


Source ST

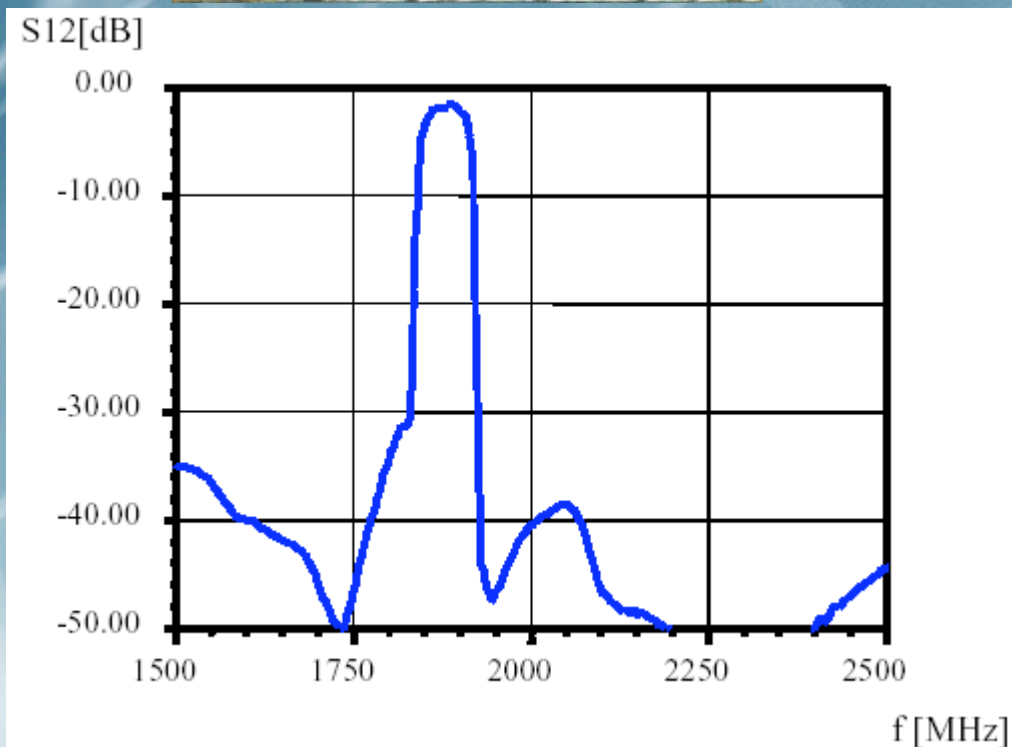
FBAR

(Film Bulk Acoustic Resonator)

Filtre FBAR (INFINEON)



0.6x0.9 mm²



R. Aigner, CICC'2003

SMR (Solid-Mounted Resonator)

Avantages

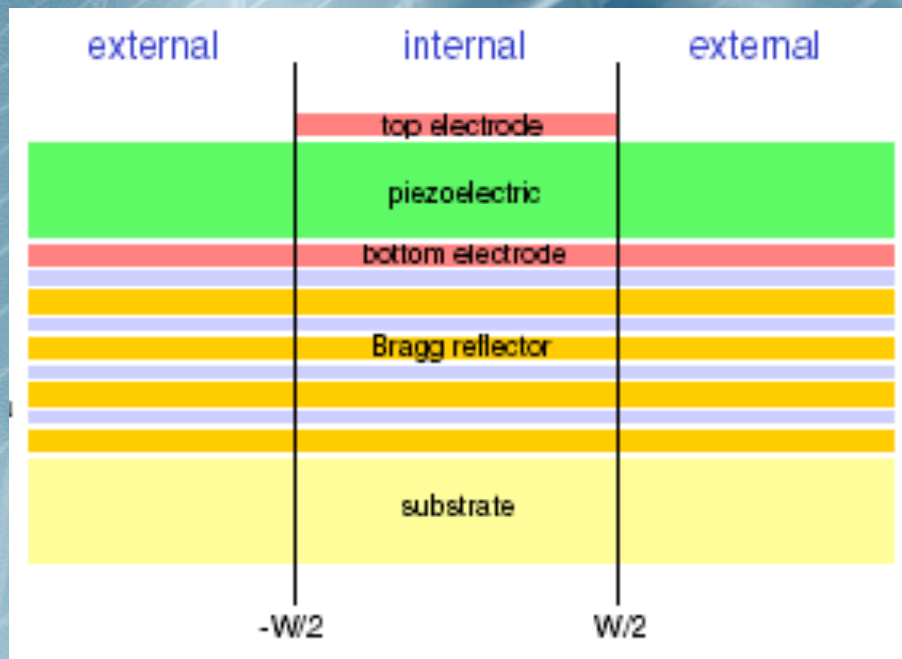
- possibilité de développer des BAW stand-alone (SiP)
- bonne dissipation thermique à travers les couches du réflecteur (compensation de température)

Inconvénients

- pertes plus importantes
- nombre de couches plus grand

Fondeurs

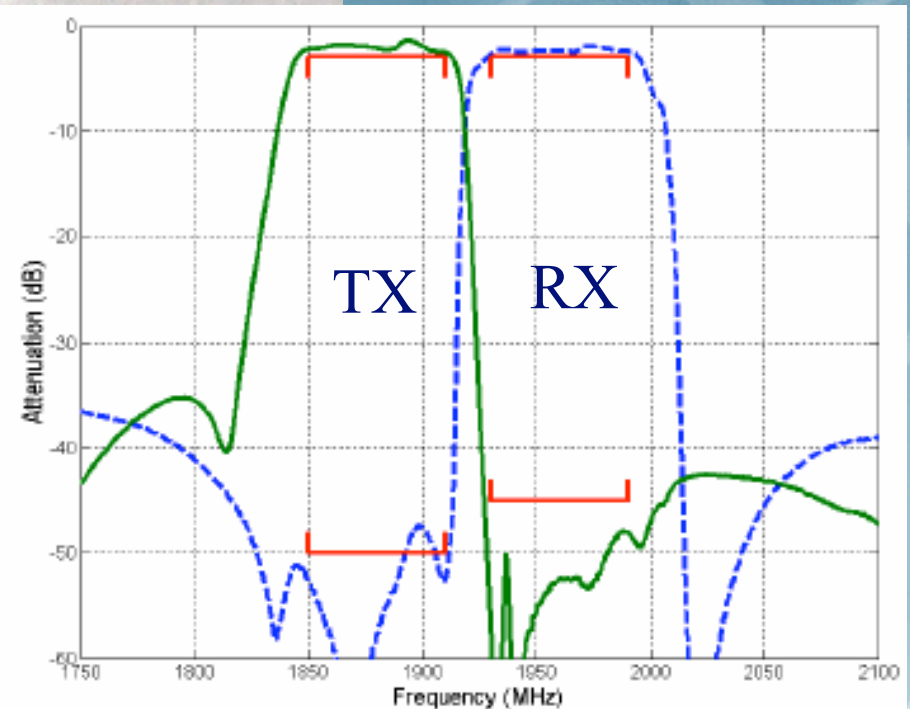
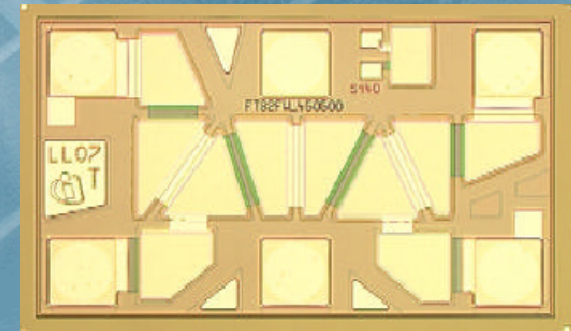
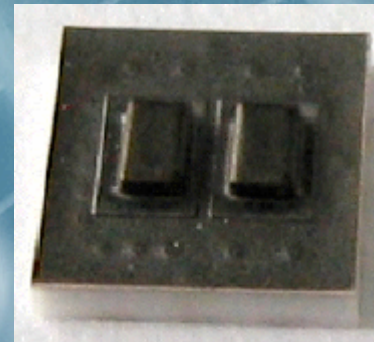
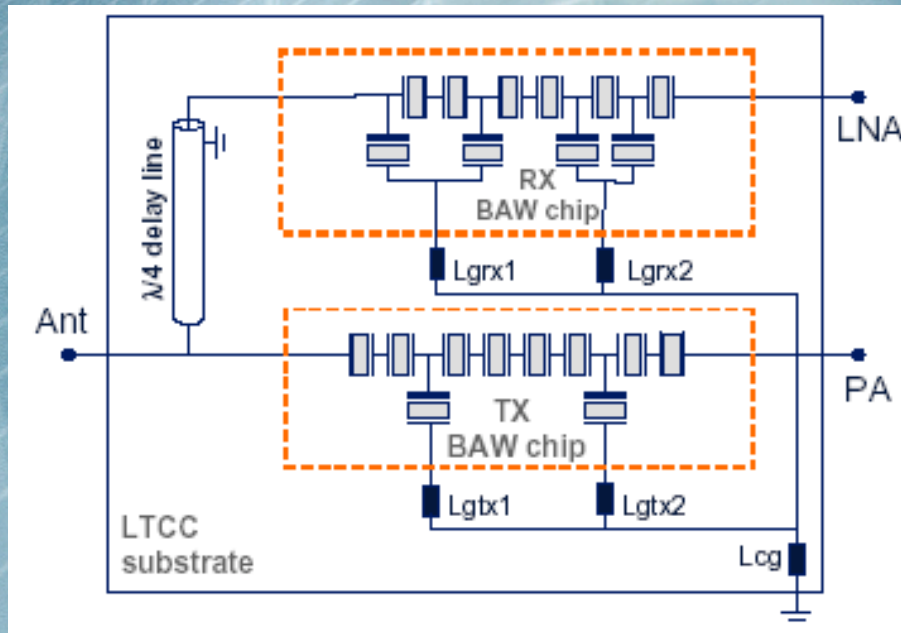
ST, PHILIPS,
INFINEON



SMR (Solid-Mounted Resonator)

Duplexeur BAW (INFINEON - EPCOS)

Chip TX PCS 1.5x0.9 mm²



S. Marksteiner & al., Ultrasonics'2003

CRF (Coupled-Resonator Filter)

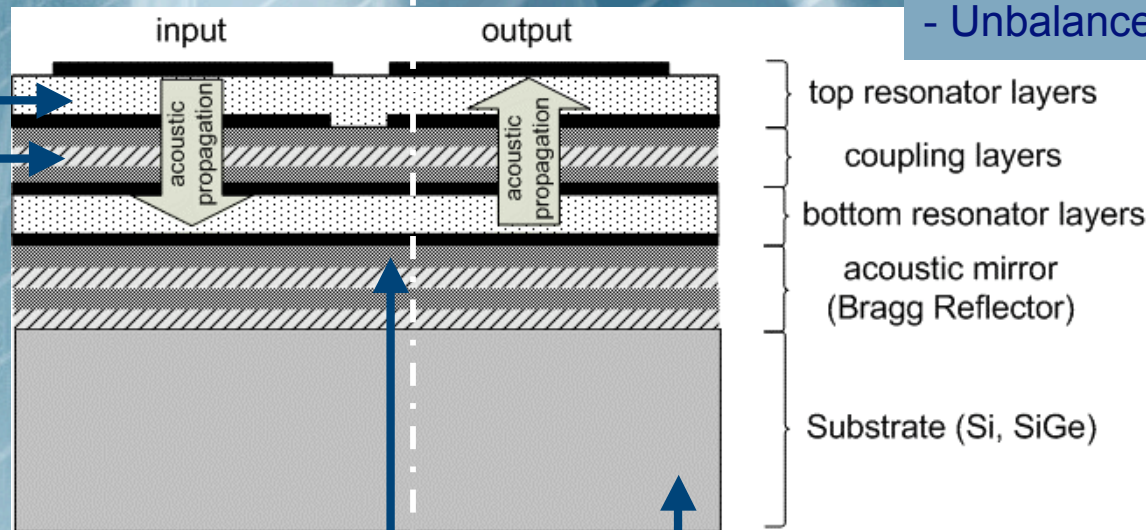
Advantages

- Larger bandwidth compared to the classical ladder topology;
- Higher rejection at stopband;
- Reduced area (stacked resonators)
- Enable impedance conversion ($Z_{in} \neq Z_{out}$)
- Unbalanced-to-balanced conversion

Acoustic waves are generated at the input resonator (piezoelectric coupling)

1st stage

2nd stage



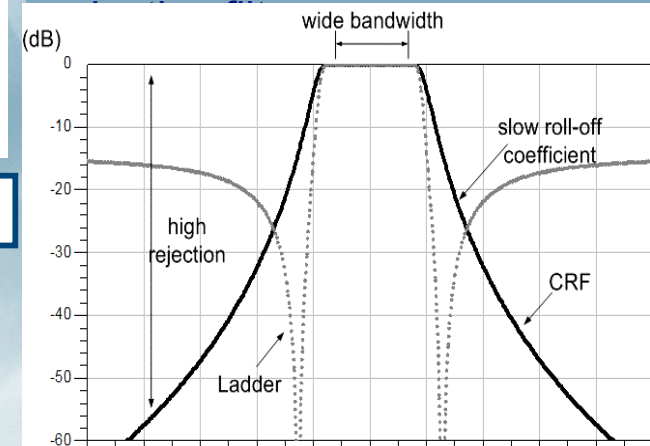
Acoustical coupling: in-band ripple and bandwidth

Active circuits

Optimal discontinuity: Acoustic waves are reflected and confined in the structure

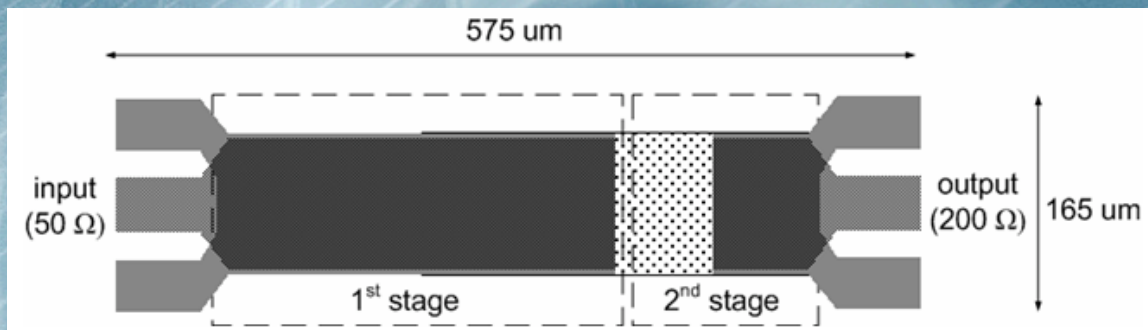
Drawbacks

- More difficult technologic process control: two piezoelectric layers
- Slower roll-off coefficient: less



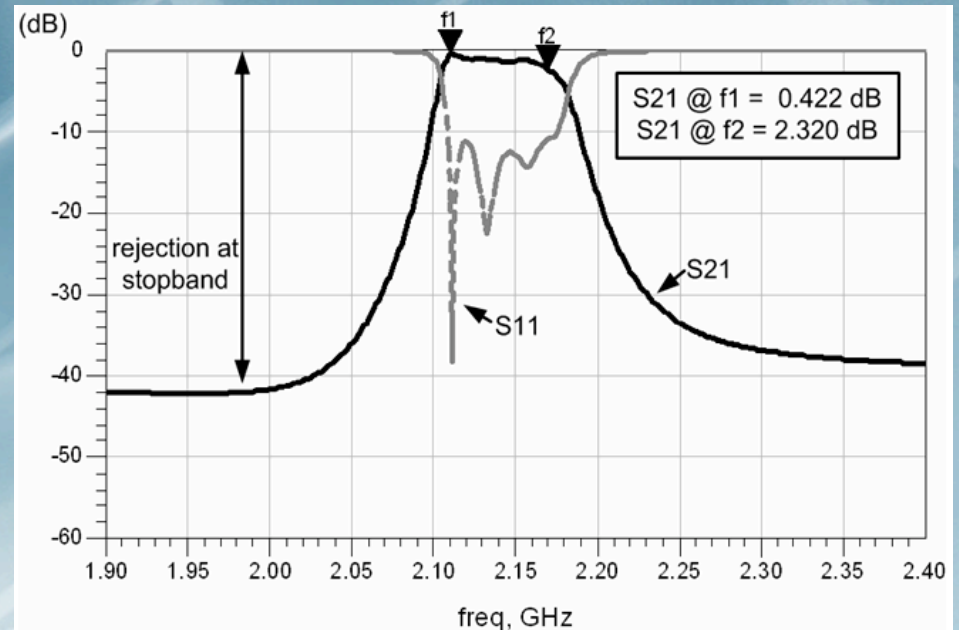
CRF (Coupled-Resonator Filter)

Filtre CRF (IXL)

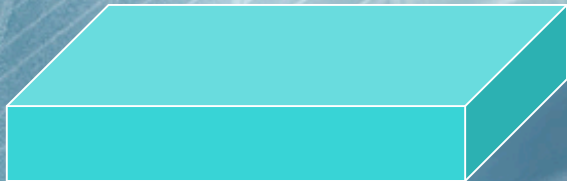


A. Shirakawa & al., EuMC'2005

CRF Filter Dimensions			
stage		layer	Dimension
1 st stage	1st resonator	thickness	
		top electrode	0.145 μm
		piezoelectric layer	1.760 μm
		bottom electrode	0.145 μm
	coupling layers	area	275.50 nm^2
		thickness	
2 nd stage	2nd resonator	low impedance	0.675 μm
		high impedance	0.610 μm
		low impedance	0.675 μm
		thickness	
	1st resonator	top electrode	0.145 μm
		piezoelectric layer	1.760 μm
	2nd resonator	bottom electrode	0.145 μm
		area	137.75 nm^2
	1st resonator	area	137.75 nm^2
	2nd resonator	area	68.87 nm^2



Choix des Matériaux Piézo



AlN, ZnO, PZT

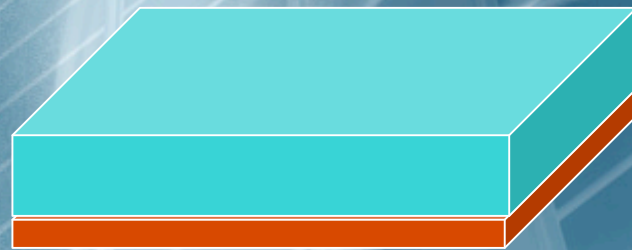
- ϵ_r → permissivité électrique
- TC → coefficient de température
- k_t^2 → coefficient de couplage electro-acoustique
- α → pertes acoustiques
- v → vitesse du son

	ϵ_r	TC (ppm/°C)	k_t^2	α	v (m/s)
AlN	~ 10	- 25	6,5%	basse (?)	11.350
ZnO	~ 10	- 60	7,5%	basse (?)	6.080
PZT*	400	?	8 ~ 15%	haute (?)	4.600

* Titanate de Zirconium

Compensation en température

Compensation en Température



Matériau piézoélectrique
AlN, ZnO

Coefficient de variation en
température négatif

Matériau de TCF compensatoire
 SiO_2

Coefficient de variation en
température positif

Projet MARTINA

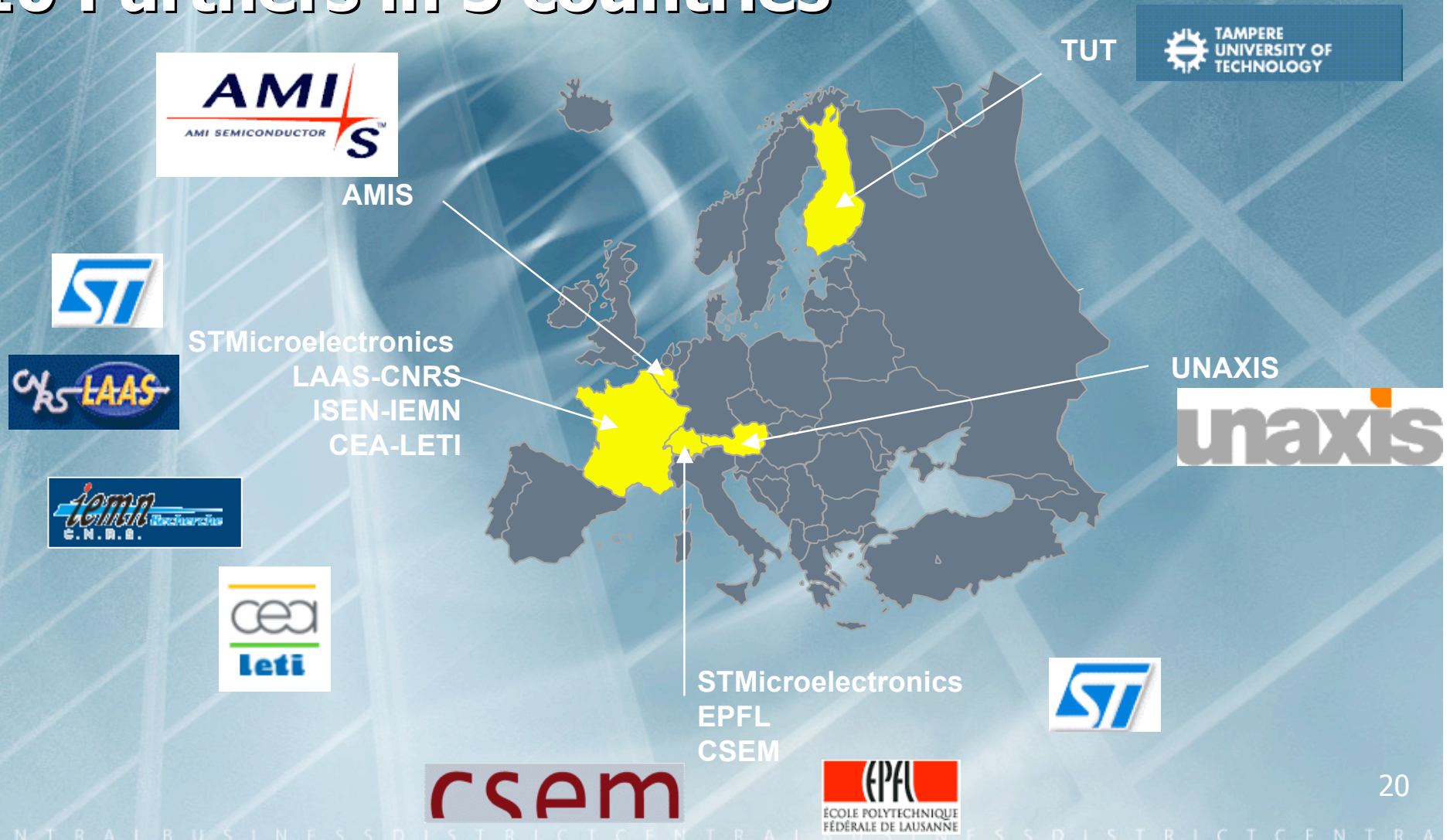
Monolithic Above IC Resonator Technology for Integrated Novel Architecture in mobile and wireless communication

- ❖ IST call: February 21th, 2002
- ❖ Starting date: July 1st, 2002
- ❖ Project duration: 36 months (end June 30th, 2005)
- ❖ Manpower: 363 men.months
- ❖ Total cost: 5 146 013 Euros
- ❖ EC Contribution: 1 945 035 Euros

Objective: To make a Mono-Chip WCDMA RX including a 60MHz AIC BAW BPF from 2.11GHz to 2.17GHz with a TX frequency rejection (1.95GHz) better than -28dB.

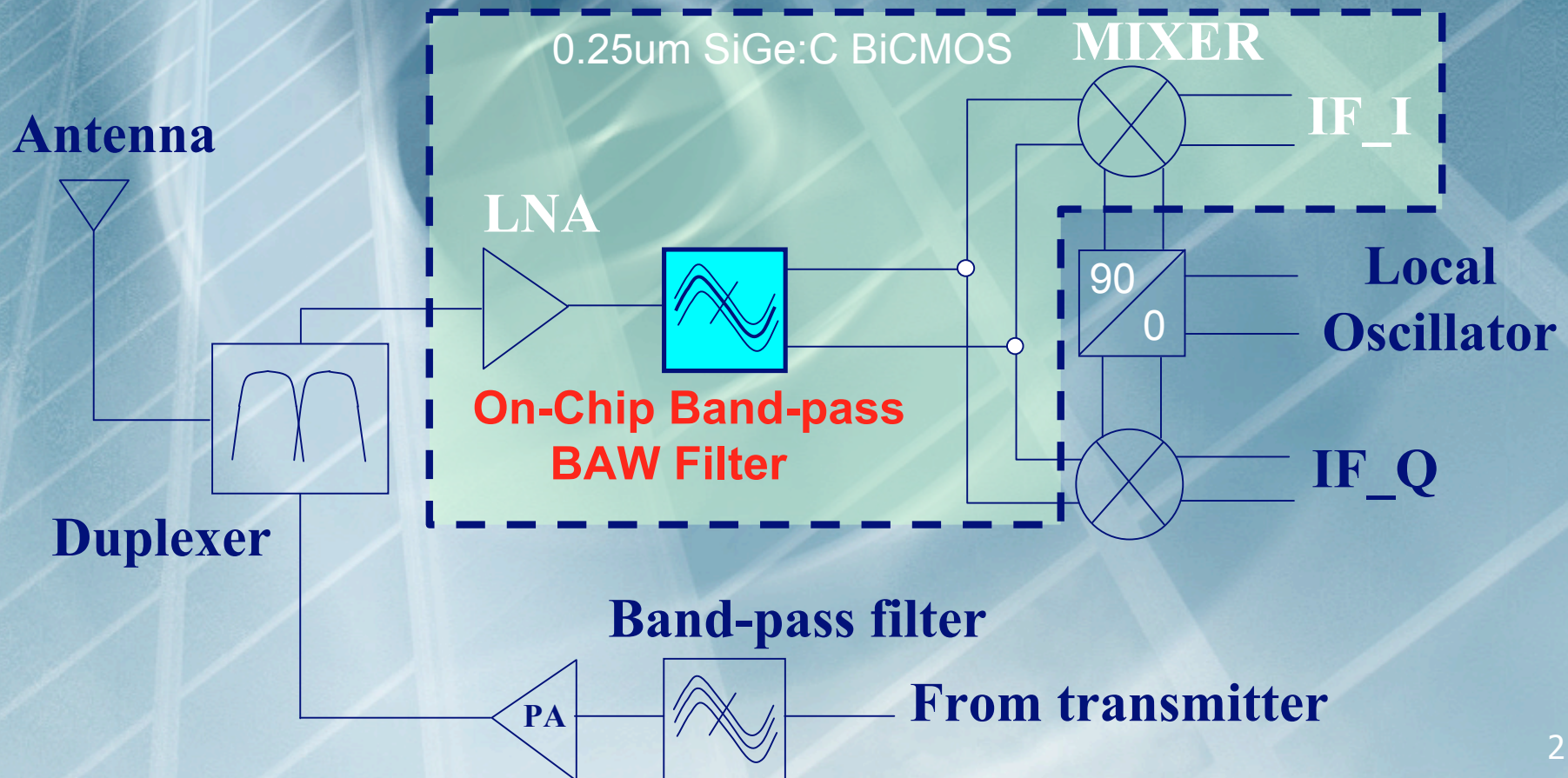
Projet MARTINA

10 Partners in 5 countries



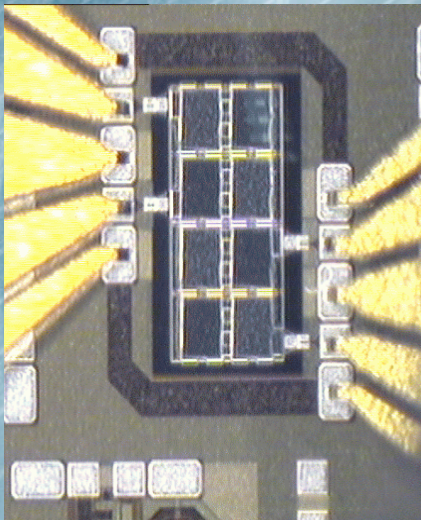
Projet MARTINA

WCDMA Rx RFFE with AIC BAW Filter

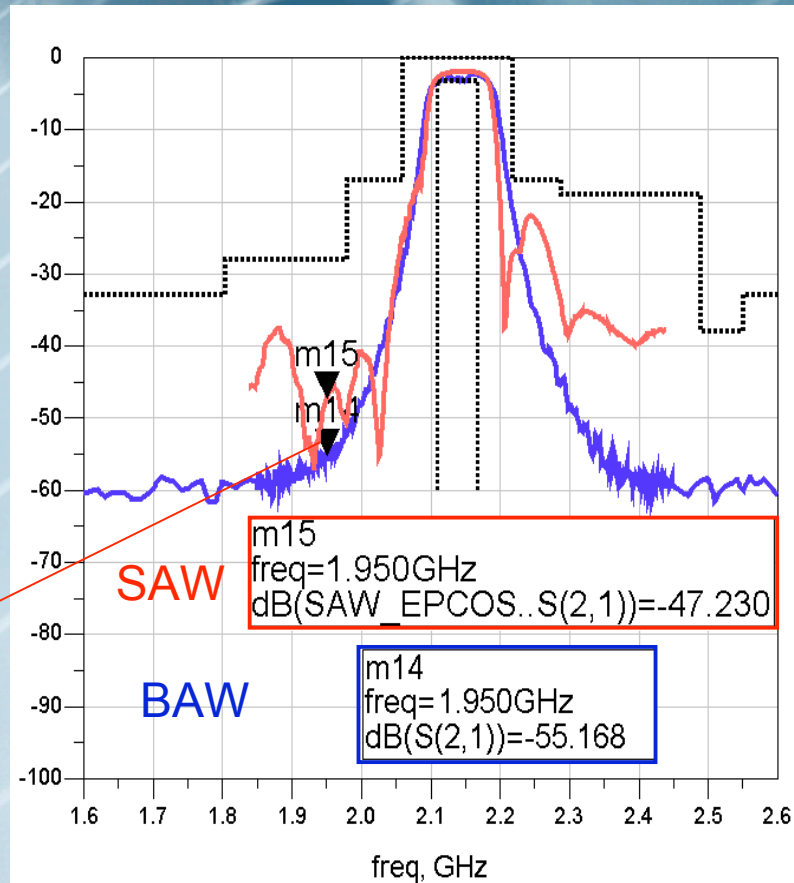


Projet MARTINA

BAW filter characterization

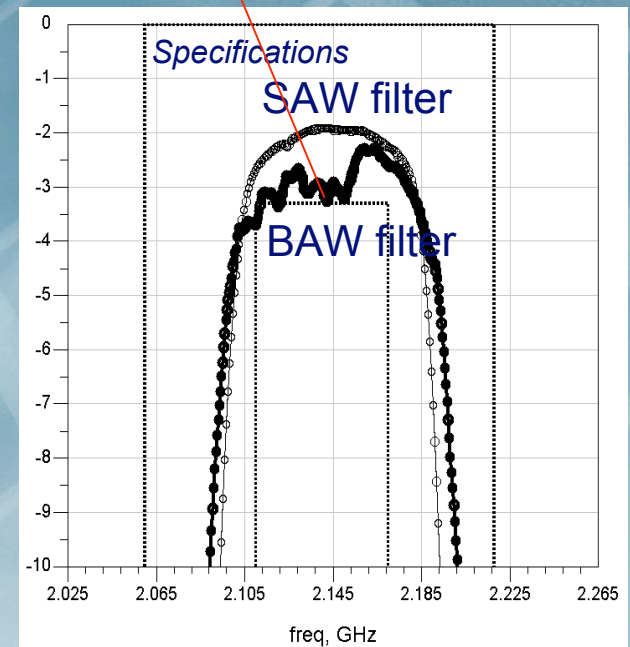


4-ports differential
RF test structure



- 55dB

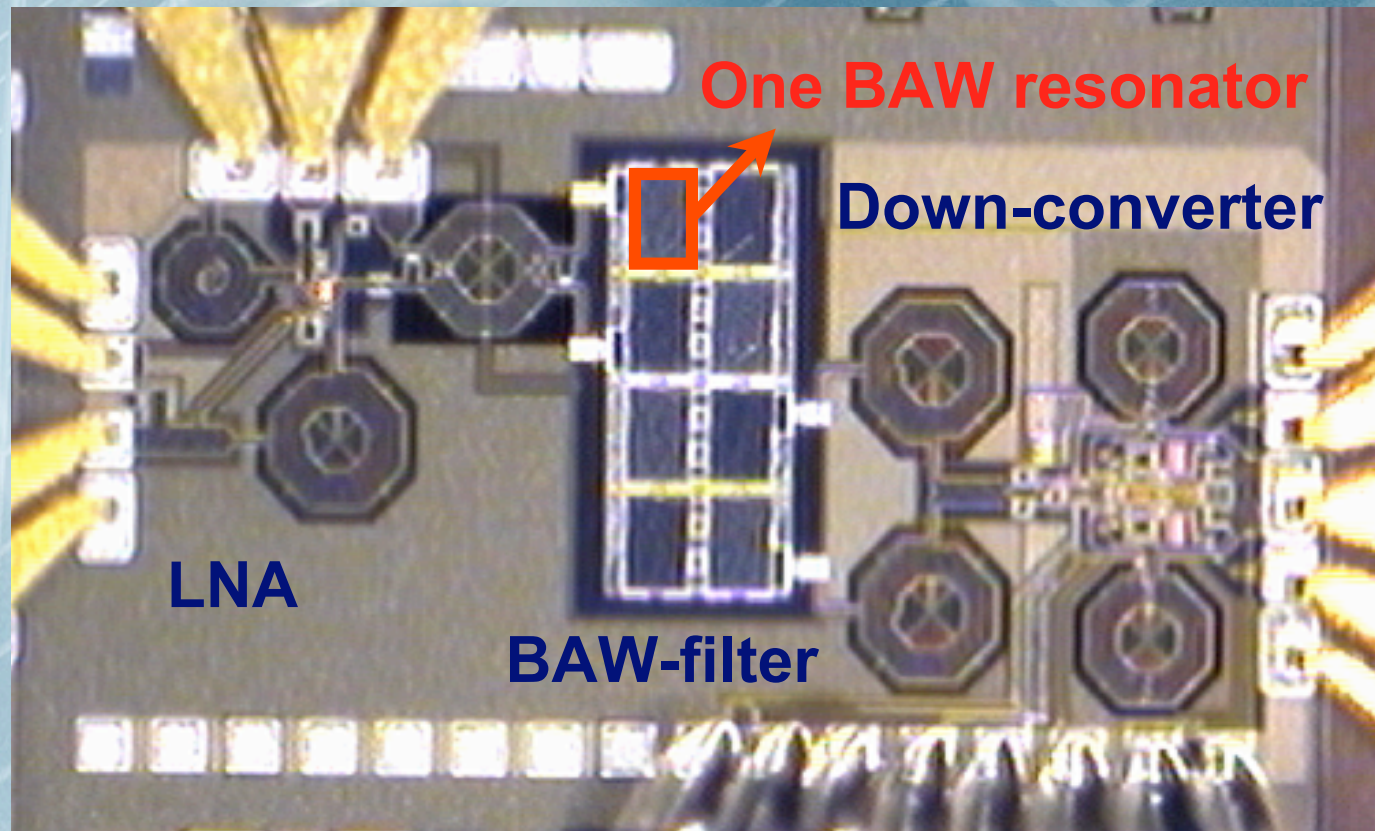
- 3.5dB



Insertion loss(dB) 22

Projet MARTINA

Complete WCDMA RFFE Photograph

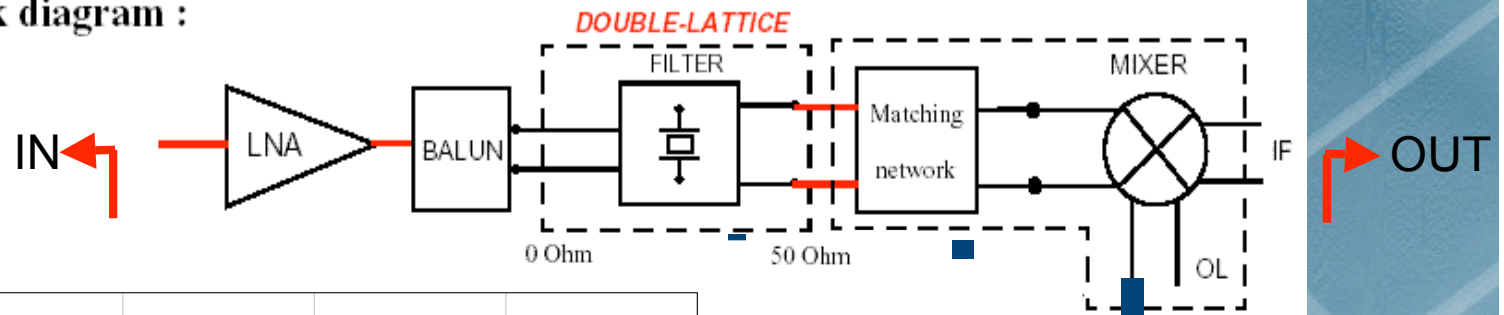


Effective chip area 2.44 mm², including the BAW filter (0.45 mm²)

Projet MARTINA

WCDMA RX RFFE Conversion Gain

Block diagram :



RX Band

$F = 2.14\text{GHz}$
 $G = 31.3\text{dB}$

TX Band

$F = 1.95\text{GHz}$
 $G = -15.0\text{ dB}$

Simulation

Measurement

The TX band is rejected by 45 dB, while the specifications imposes 28dB

<http://www.isen.fr/martina/>

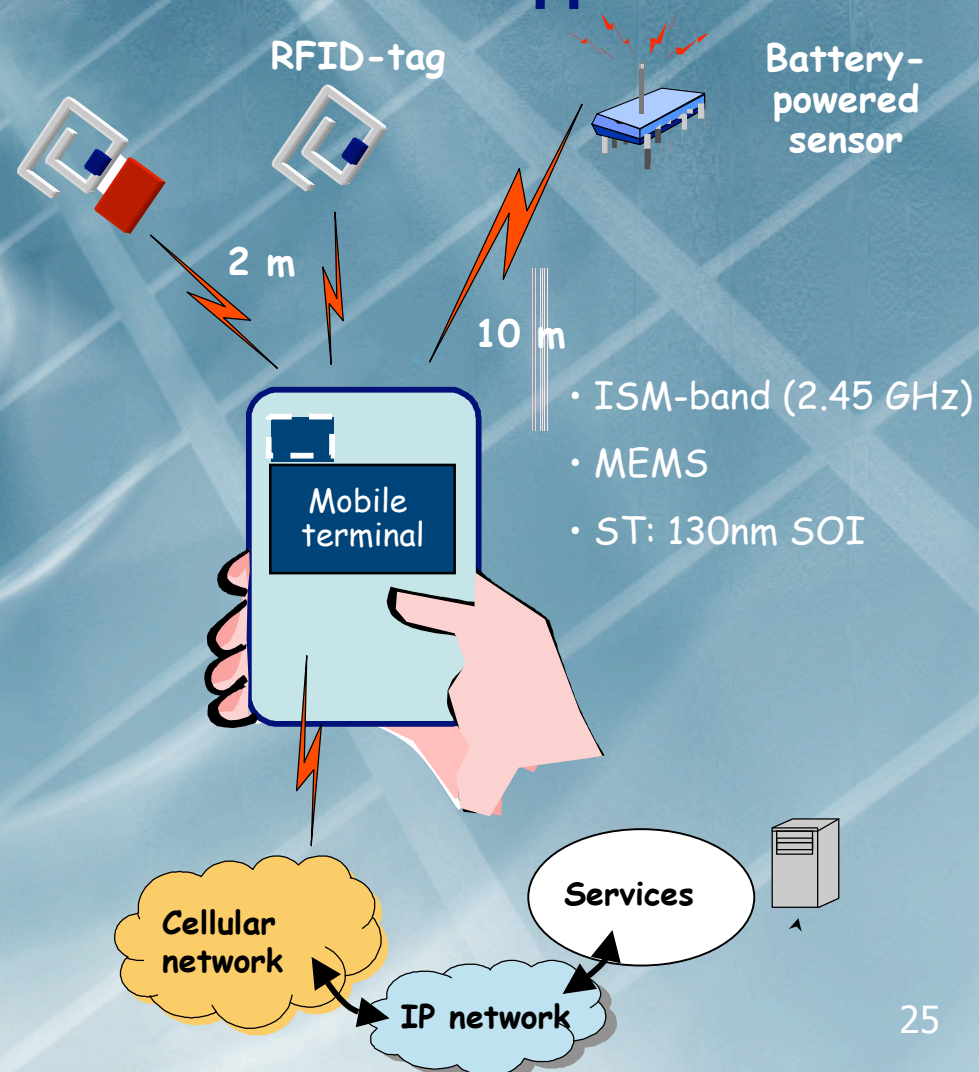


Projet MIMOSA

Microsystems platform for MObile Services and Applications

Objective:

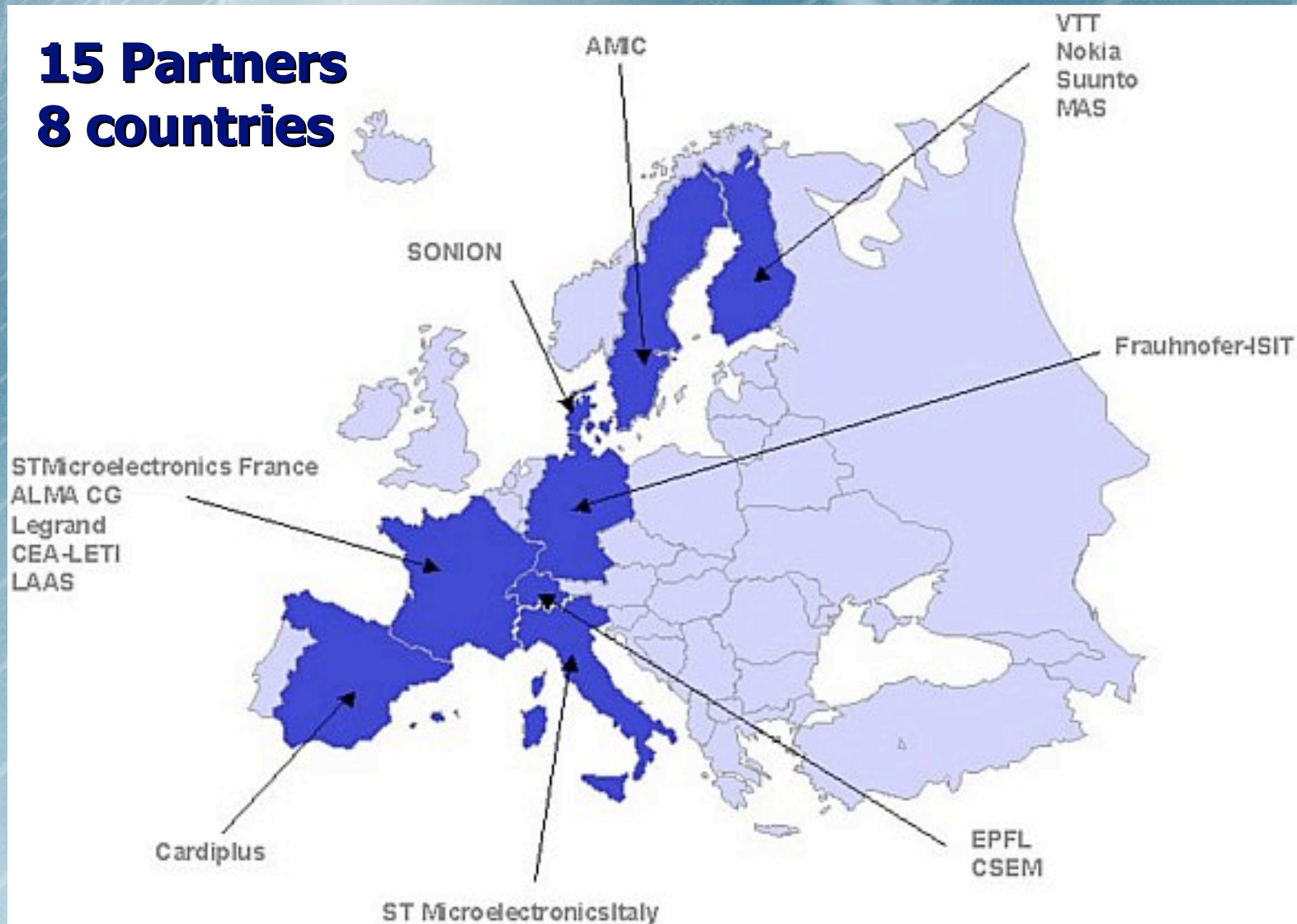
Create the key solutions for the local connectivity in a mobile-phone-centric architecture of Ambient Intelligence!





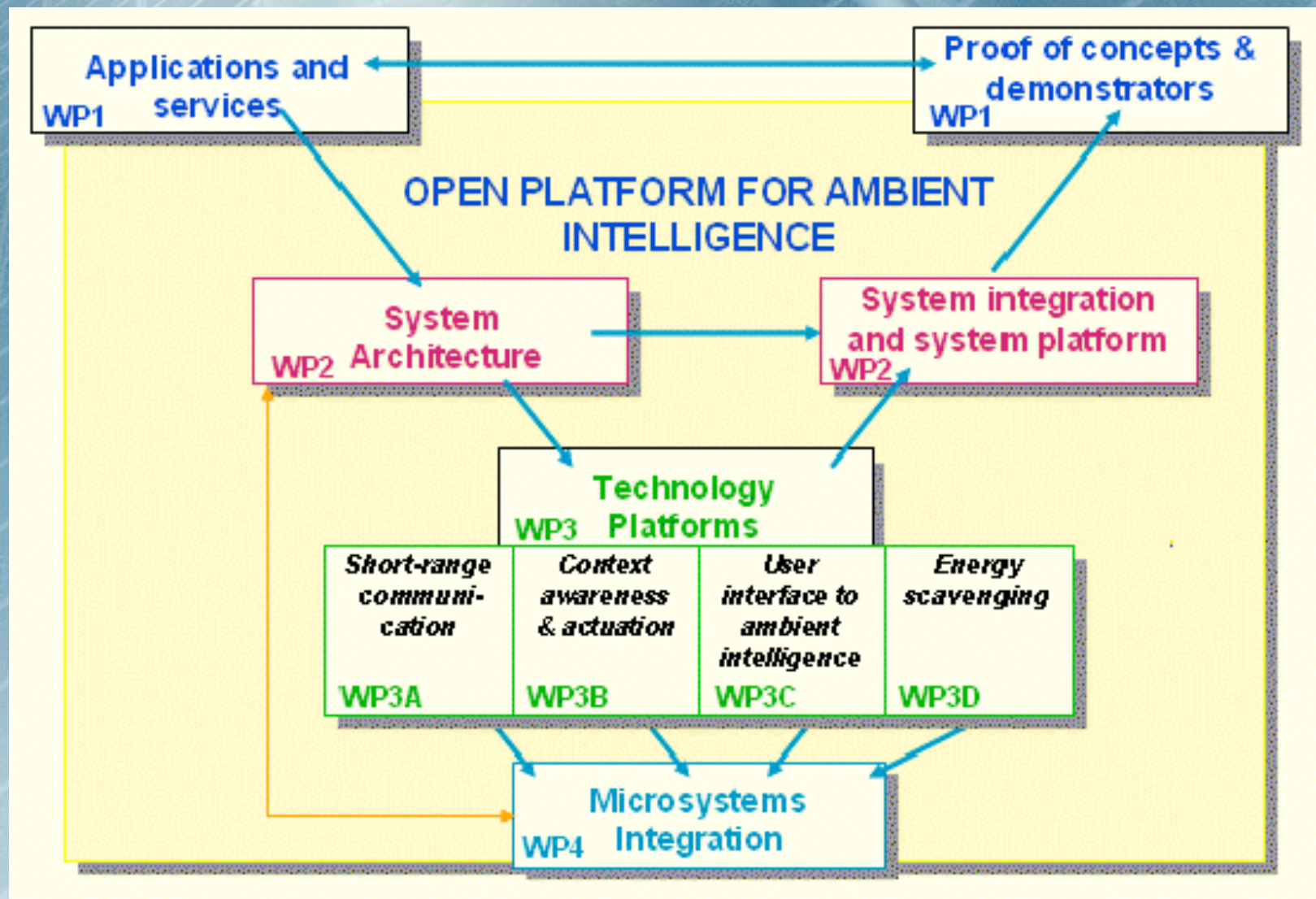
Projet MIMOSA

15 Partners
8 countries





Projet MIMOSA





Projet MIMOSA

Sports



Fitness



Healthcare





Projet MIMOSA

Ultra-low power wake-up radio

Receiver architecture

- MEMS high-Q LC – balun for antenna matching
- MEMS BAW differential preselect filter**
- Differential LNA with internal inductive load
- First down-conversion to low IF with fixed RF local oscillator (**BAW resonator matched to filter**)
- Second IQ down-conversion with integrated ring-oscillator

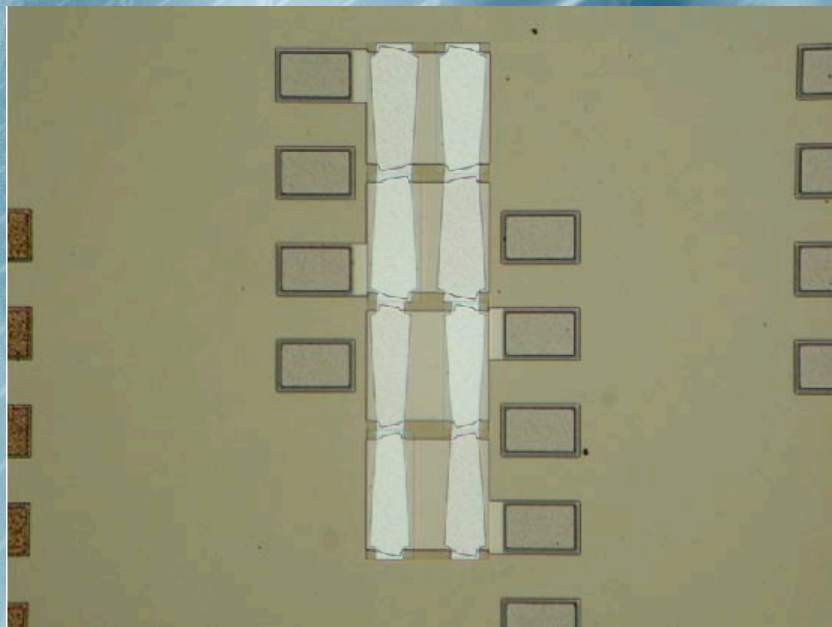


Projet MIMOSA



Projet MIMOSA

BAW filter design and resonator measurements





Projet MOBILIS

Mixed SiP and SoC Integration of Power BAW Filters for Digital Wireless Transmissions

11 partenaires :

IEMN, IRCOM,
IXL,
LAAS, VTT,
TRIKON,
EPCOS, ST,
CEA-LETI, PUB,
UPM

3 ans, 6 M€

Objectif :

- développer un émetteur radiofréquence multimode (DCS1800, W-CDMA)
- partie SoC (baseband) sur substrat silicium 65nm
- partie SiP (amplificateur de puissance reconfigurable en technologie BiCMOS, 2 filtres BAW de puissance et duplexeur à base de résonateurs SMR)
- ensemble reporté sur un IPAD
- développement d'un modèle non-linéaire du résonateur SMR basé sur un ensemble de caractérisations électriques, thermiques et en puissance



UPM

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



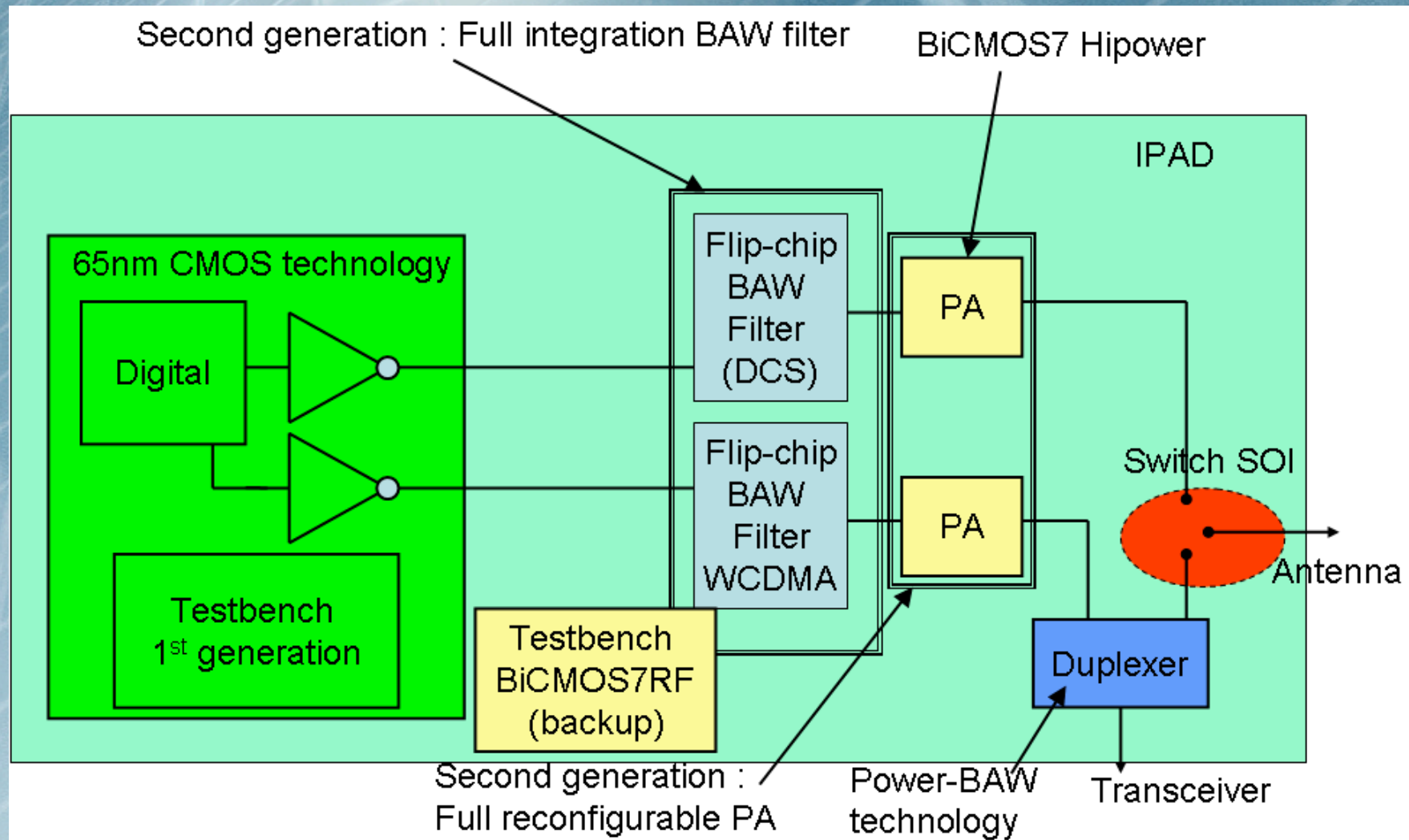
Projet MOBILIS

Mixed SiP and SoC Integration of Power BAW Filters for Digital Wireless Transmissions

- ❖ IST call: 25 Mars 2005
- ❖ Starting date: 01 Janvier 2006
- ❖ Project duration: 36 mois (fin 31 Décembre 2008)
- ❖ Manpower: 470 hommes-mois
- ❖ Total cost: 5 600 737 Euros
- ❖ EC Contribution: 2 956 623 Euros



Projet MOBILIS



Plateforme BAW CNRS

Partenaires : ESIEE, IEMN, IRCOM, IXL, LAAS, ST Crolles, CEA LETI

Objectif : Co-intégration de circuits RF avec des résonateurs BAW

Actions :

1. Technologie : intégration de résonateurs BAW et de l'électronique d'asservissement avec in fine l'optique d'une filière « above IC »
2. Modélisation et Conception : synthèse de nouvelles architectures de filtres, duplexeurs, LNAs filtrants, VCO
3. Caractérisation : électrique, acoustique, thermique, puissance
4. Diffusion des connaissances : mise en place d'une base de données de caractérisation et de modèles

Plateforme BAW CNRS

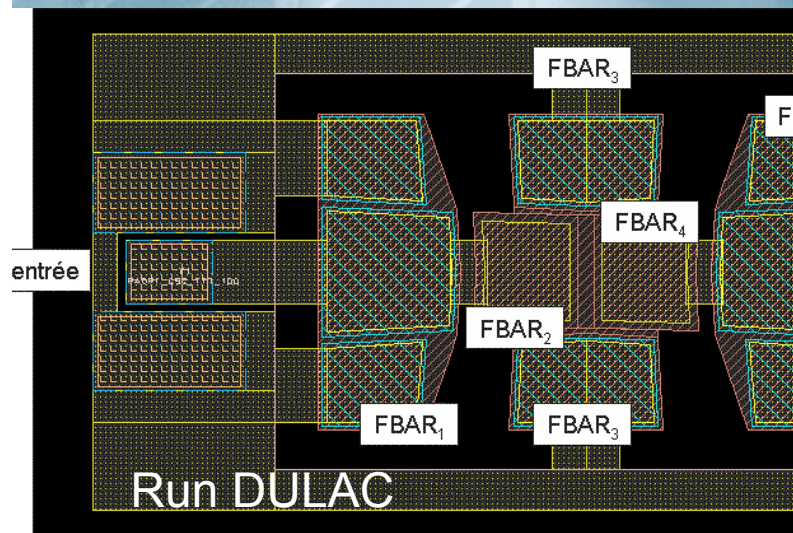
Stratégie de collaboration :

1. Logiciels : accès de tous les partenaires au Design Kit ST
2. Modélisation : mise à disposition des mesures et des simulations antérieures effectuées par ST et LETI pour le développement de méthodologie de conception de filtres
3. Caractérisation : mise à disposition de certains démonstrateurs par ST et des moyens de caractérisation par les laboratoires
4. Technologies : RUN LETI en sept 05 pour un démonstrateur avec résonateur SMR (avec fourniture DK et signature NDA)
5. Moyens humains : 2 thèses BDI cofinancées ST en 05
6. Valorisation : STREP IST MOBILIS (4eme appel du 6eme PCRD)
7. Confidentialité : exploitation des résultats par les partenaires universitaires toujours en négociation.

Plateforme BAW CNRS (RX Ladder)

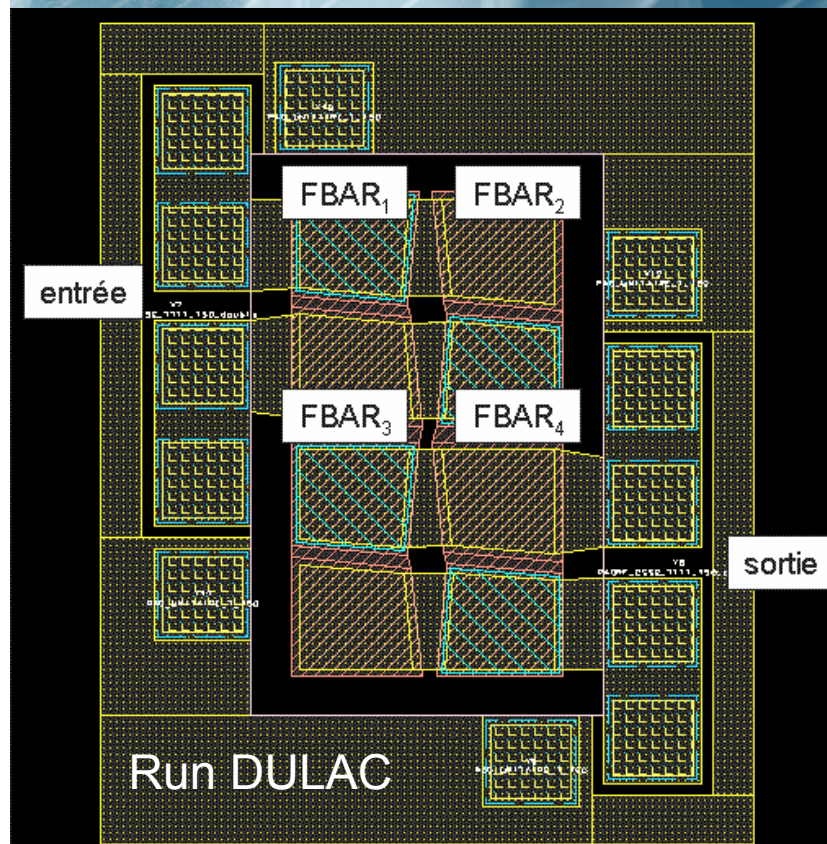
Ordre : 5
Zéros : 1 @ 1.95 GHz
1 @ 2.08 GHz
2 @ 2.20 GHz
1 @ 2.22 GHz
Réjection : 35 dB (1.92 – 1.98 GHz)
Adaptation : 16 dB

A. Shirakawa, IXL-ST-LETI, Sept.05



Plateforme BAW CNRS (RX Lattice)

Ordre : 4
Zéros : 2 @ 1,955 GHz
 2 @ 2,370 GHz
Réjection : 60 dB (1.92 – 1.98 GHz)
Adaptation : 18,5 dB



Analyse Electrique
Modèle BVD+



Analyse EM +
Modèle de Mason



Plateforme BAW CNRS (TX Ladder-Lattice)

Ordre : 5

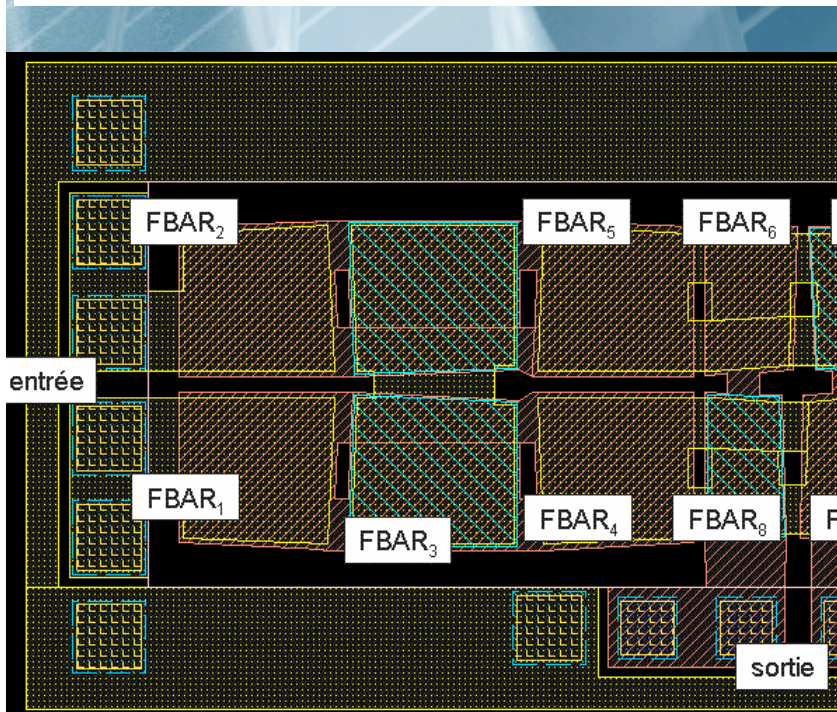
Zéros : 1 @ 1,800 GHz, 1 @ 1,905 GHz
1 @ 2,040 GHz, 1 @ 2,165 GHz

Réjection : 40 dB (2.11 – 2.17 GHz)

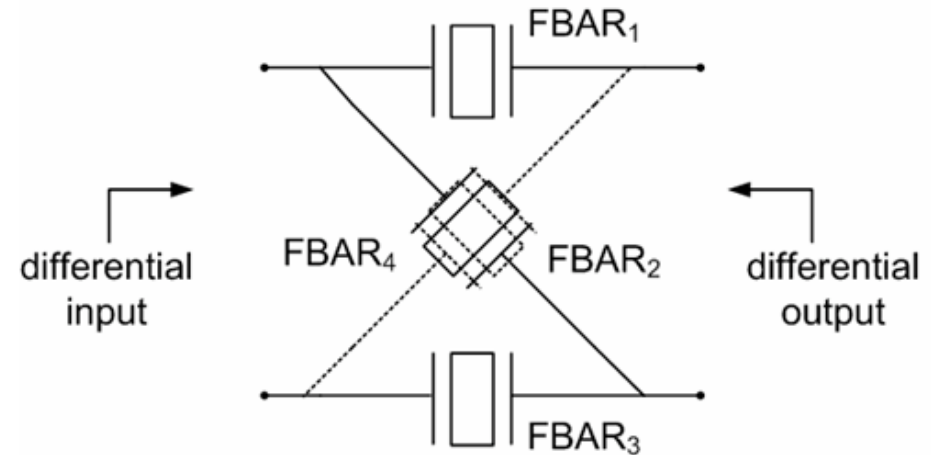
Adaptation : 16 dB

Analyse EM +
Modèle de Mason

Analyse Electrique
Modèle BVD+



Plateforme BAW CNRS (FBAR overtone)



A. Shirakawa, Lab. Commun ST-IXL, Sept.05

FBAR FILTER REQUIREMENTS

Specification	Value
Centre Frequency	27.0 GHz
Passband	30 MHz
VSWR	2
Input Impedance	50 Ω (differential)
Output Impedance	50 Ω (differential)

Ka-band filter

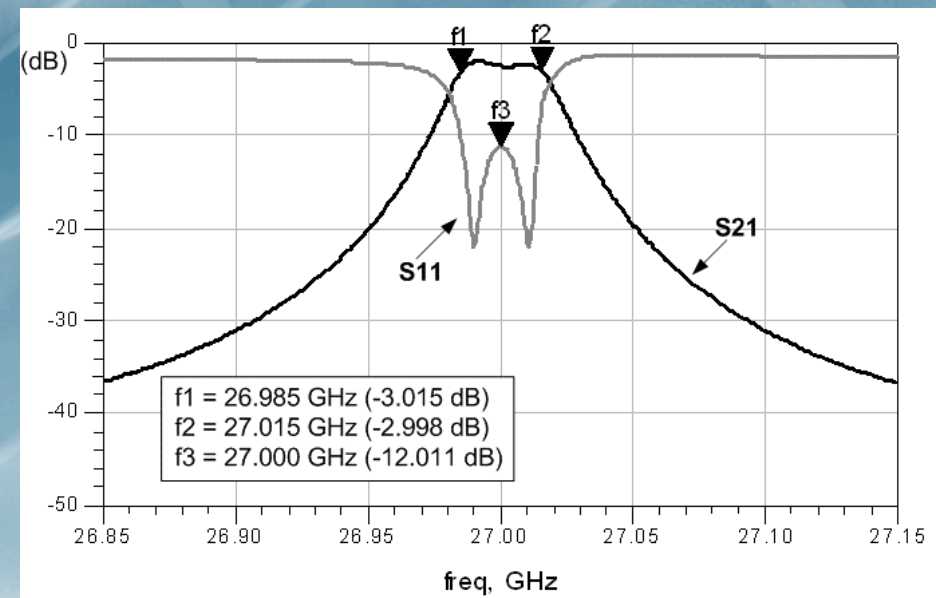
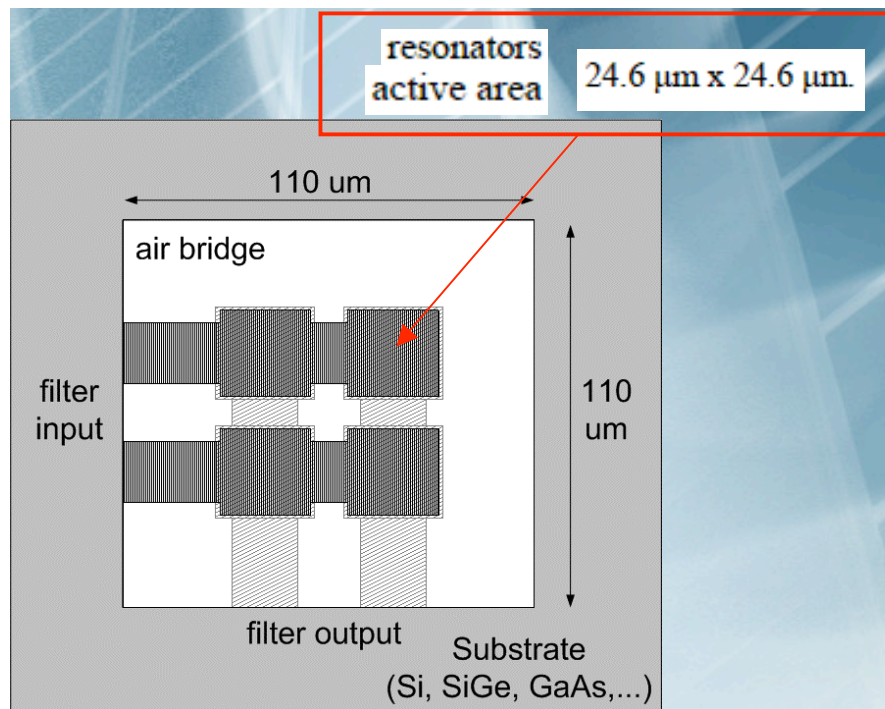
very selective
narrowband filter

Plateforme BAW CNRS (FBAR overtone)

STRUCTURE MATERIALS AND LAYERS THICKNESSES

Layer	Material	Thickness
Bottom Electrode	Mo	0.032 μm
Piezoelectric	AlN	0.484 μm
Top Electrode	Mo	0.032 μm
Acoustic Loading	SiO ₂	0.002 μm

The acoustic loading layer is exclusively added to the resonators 2 and 4.



BW = 30MHz @ 27GHz

Conclusion

- BAW vs SAW
- Technologies BAW : fort potentiel (intégration, puissance, fréquence), difficile à maîtriser, mais déjà en production (Agilent, Infineon, Philips (fin 2005), ST(?), EPCOS(?))
- Excepté Agilent, la tendance est à l'utilisation des technologies SMR
- Présence dans les projets européens depuis 2002
- Développement des power-BAW et des FBAR overtone