

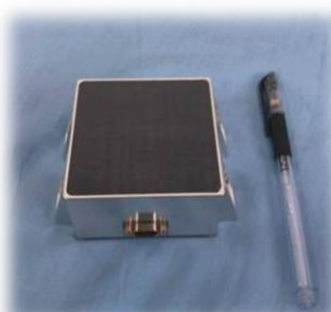
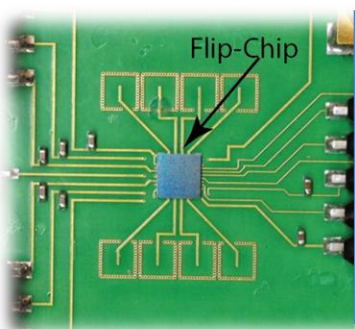


汽车主动安全防撞雷达系统 研制情况介绍

陈 潜

上海无线电设备研究所

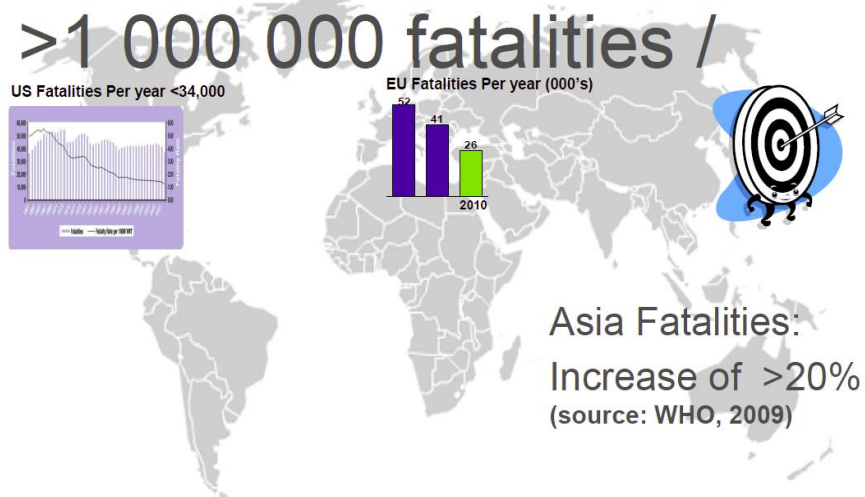
2016年3月29日



现状与趋势



全球道路安全现状



全球每年超过**100万人**因车祸受伤甚至死亡，且处于**上升趋势**，特别是**亚洲**更是以超过**20%的趋势**逐年增长。

在全球发生道路安全事故最多的十个国家中，**亚洲**占据了**6个**。2012年中国共有**6万多人**死于交通事故，**连续十年**交通事故死亡人数居于**世界第一位**。





主动式安全优势

被动式防护:

事故发生之后才提供应急保护的装置，功能有限。

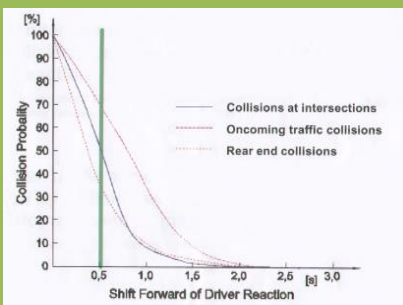
安全
气囊

缓冲
座椅

吸能
装置



主动安全技术将成为未来汽车的研发重点



提前1s采取措施可大幅度降低事故发生率



采用雷达探测技术实现预警



对前方车辆距离、速度、方位进行探测



车载防撞雷达

前沿 热点

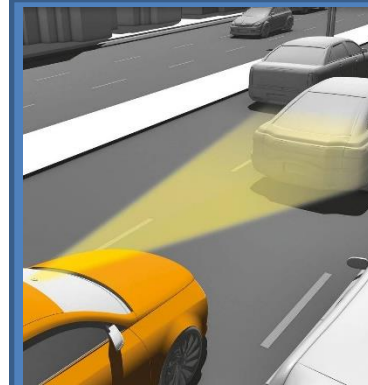
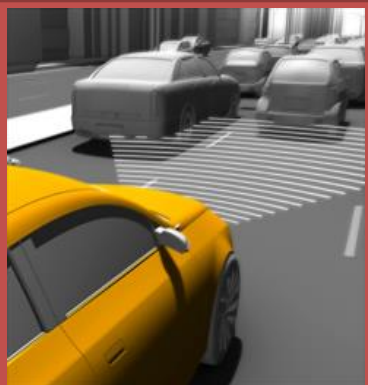
车载防撞雷达是主动式安全防护措施及无人驾驶汽车的核心传感器。

自适应巡航

盲点检测

倒车辅助

碰撞检测



2009年，**谷歌**公司启动了无人驾驶技术的研究，**车载雷达**是其24个传感器的核心之一。
2015年，**福特**公司无人车计划利用在前保险杠上安置**雷达传感器**，用雷达来探测与前车之间的距离并决定加速或者刹车。
2016年，**英国**预计在推出其无人驾驶汽车，同样采用**雷达传感器**进行前方车辆行驶特征判断。





发展趋势

工作频段

雷达频段	带宽	精度	探测距离	频段使用年限	传感器大小	潜在干扰
24GHz ISM	200MHz	0.75m	30m	截止2016（欧洲）	10cm x 10cm	易受干扰
77GHz	1GHz	0.15m	200m	无限制	5cm x 5cm	无干扰

77GHz特点

精确度高、测距远、体积小、不易受干扰。

24G

欧美国家正逐步淘汰24GHz频段。

77G

77GHz车载防撞雷达已经成为欧美各大汽车厂商评定五星安全的标准之一。

77G

全球汽车厂商都在布局采用77GHz车载雷达作为主动安全系统；
博世和德尔福已加速77GHz车载雷达在中高端汽车中的普及应用。





国内外现状

77GHz车载防撞雷达

整车制造商	Tier-1 (雷达整机供应商)
奔驰、宝马、奥迪、沃尔沃、凯迪拉克、雷克萨斯、英菲尼迪、斯柯达、雪佛兰等	博世、德尔福、大陆、电装、富士通

全球

77GHz车载防撞雷达国外处于垄断地位!

规模

全球汽车产量**8500万台/年**，高级驾驶辅助系统整体**规模将达到300亿美元**。

市场

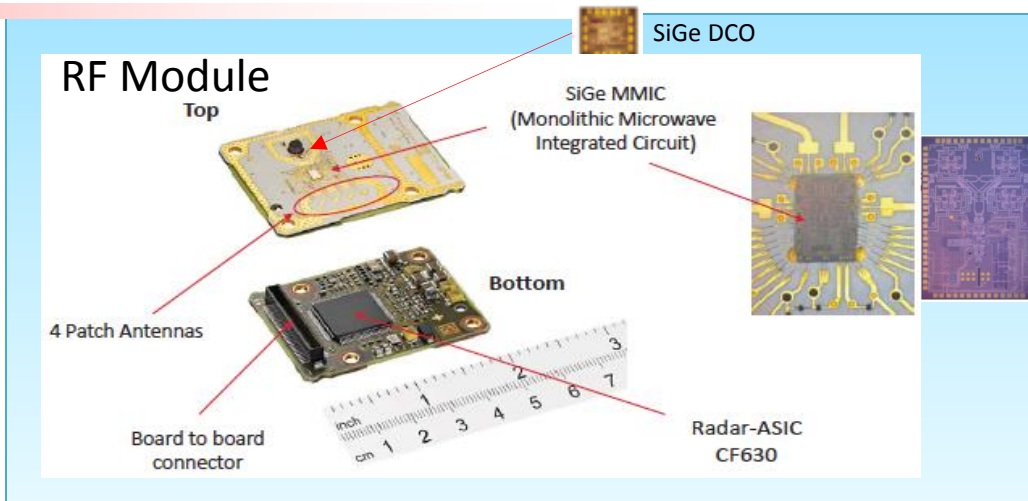
全球车载防撞雷达市场将达到**100亿美元**。





国内外现状

77GHz车载防撞雷达



- 雷达整机：中长距 \$ 100~\$ 150；
长 距 \$ 150~\$ 220；
- 毫米波前端模块造价昂贵
—— 采用英飞凌、飞思卡尔芯片；
- 核心芯片由美德两国垄断；
- 目前只有高、中端轿车配备。



发展趋势

77GHz车载防撞雷达

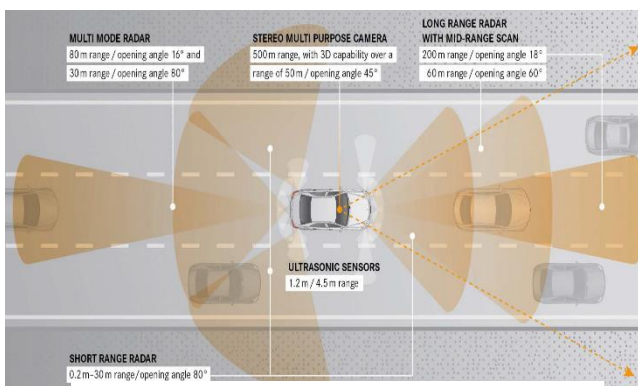
精细化

信息化

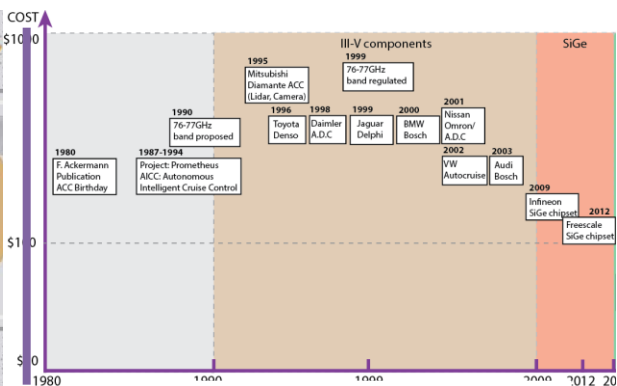
全方位

网络化

低造价



全方位，探测精度更高
奔驰S级6颗毫米波雷达



成本不断降低
体制更加复杂



功能更加强大
满足无人驾驶的需求



发展趋势

77GHz车载防撞雷达

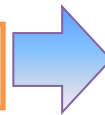
功能上符合更加复杂信息提取的要求：

探测精度的精细化

一维点信息



二维轮廓成像



三维层析
立体成像

探测体制的多元化

点频、非相
干、单通道、
实孔径



调频、相干、
多通道、综
合孔径



认知、相控
阵、合成孔
径、网络化

体制更加复杂，成本不断降低

采用更加廉价的硅基工艺芯片成为新的发展趋势。





国内外现状

国外科研进展：V-W频段 CMOS 工艺

IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 49, NO. 12, DECEMBER 2014

A 16TX/16RX 60 GHz 802.11ad Chipset With Single Coaxial Interface and Polarization Diversity

Michael Boers, Member, IEEE, Bagher Afshar, Member, IEEE, Jason Vassiliou, Member, IEEE, Saikat Sarkar, Member, IEEE, Sean T. Nicolson, Ehsan Adabi, Bevin George Perumana, Member, IEEE, Theodoros Chalyvatzis, Member, IEEE, Spyros Kavvadias, Member, IEEE, Padmanava Sen, Member, IEEE, Wei Liat Chan, Member, IEEE, Alvin Hong-Ting Yu, Ali Parsa, Med Nariman, Member, IEEE, Seunghwan Yoon, Alfred Grau Besoli, Chrysoula A. Kyriazidou, Gerasimos Zochios, Jesus A. Castaneda, Tirdad Sowlati, Member, IEEE, Maryam Rofougaran, Senior Member, IEEE, Ahmadreza Rofougaran, Senior Member, IEEE



ISSCC 2014 / SESSION 14 / MILLIMETER-WAVE AND TERAHERTZ TECHNIQUES / 14.1

14.1 A 0.9V 20.9dBm 22.3%-PAE E-Band Power Amplifier with Broadband Parallel-Series Power Combiner in 40nm CMOS

Dixian Zhao, Patrick Reynaert

KU Leuven, Leuven, Belgium

The 71-to-76GHz and 81-to-86GHz bands (known as E-band) exhibit low atmospheric attenuation and are allocated by FCC and CEPT for long-haul transmission. They enable multi-Gb/s fixed-link services such as fiber extension/replacement and cellular backhaul. It is beneficial to have a device operating in both 50GHz bands for high data throughput (due to full usage of the

minimize the intracore loss. Compared to the PDK transistor model, the maximum power gain of the neutralized GS amplifier is reduced by only 0.7dB ($C_{gs}=43fF$). In addition, the parallel T-line-based power divider at the input also lowers the overall input impedance by a factor of 2, which simplifies the input matching design and preserves the bandwidth.

A compact floor plan is crucial to mm-Wave circuits where the pitch of the interconnects has to be considered carefully. These interconnects only route the signals between stages but also be employed matching circuits to minimize the overall loss. Besides, the uncoupled coupling that cannot be avoided in a compact design has to be accurately. Figure 14.1.3 illustrates the layout of the output series power divider and associated interconnects. The distance between



IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 45, NO. 4, APRIL 2011

A 77 GHz 90 nm CMOS Transceiver for FMCW Radar Applications

Toshiya Mitomo, Member, IEEE, Naoko Ono, Hiroaki Hoshino, Yoshiaki Yoshihara, Member, IEEE, Osamu Watanabe, Member, IEEE, and Ichiro Seto, Member, IEEE



ISSCC 2014 / SESSION 14 / MILLIMETER-WAVE AND TERAHERTZ TECHNIQUES / 14.2

14.2 A 79GHz Phase-Modulated 4GHz-BW CW Radar TX in 28nm CMOS

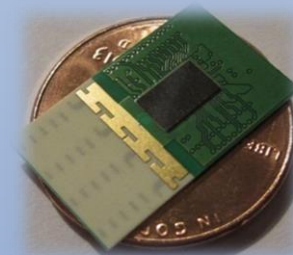
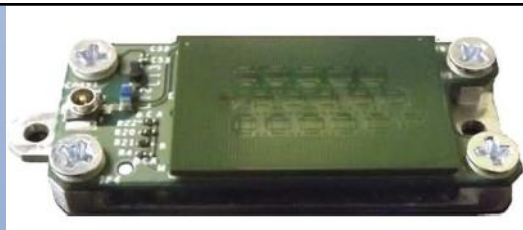
Vito Giannini¹, Davide Guermandi¹, Qixian Shi^{1,2}, Kristof Vaesen¹, Bertrand Parvais¹, Wim Van Thillo¹, André Bourdoux¹, Charlotte Soens¹, Jan Craninckx¹, Piet Wambacq^{1,2}

¹imec, Leuven, Belgium,
²Vrije Universiteit Brussel, Brussels, Belgium

The modulator core is sketched in Fig. 14.2.3 together with the baseband and the power amplifier simplified schematics. The input signal from the SH-ILO VCO is applied to the sources of the mixer switches M_{mix} via a transformer. A second transformer at the drains of M_{mix} collects the output current and transfers it to the PA. The current in the switching pairs is controlled by a current DAC. With a straightforward square-wave BPSK modulation, side-lobe peaks are observed to be 13.4dB and 17.9dB below the main-lobe peak at about $\pm 3/2 f_c$, respectively. In this work, out-of-band emissions are reduced by using lobe suppression technique in combination with pulse-shaping. The split into two parallel paths, half of which is fed with the digital sequence, delayed and in time, is a 2.5th order Butterworth filter of the bit period, which is a good



国外业界进展：产业化 60GHz CMOS





国内现状

77GHz车载防撞雷达

2005年：

- 我国政府与国际接轨，规划将77GHz作为未来汽车防撞雷达探测频段。

空白

国内尚无成熟的77GHz车载防撞雷达整机制造商，
仅有上海无线电设备研究所研制成功雷达工程样机。

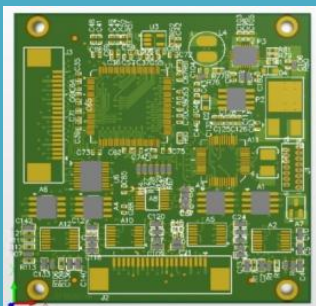




国内现状

77GHz车载防撞雷达

上海无线电设备研究所从2009年起展开77GHz车载防撞雷达的研制，先后经历了单波束、双波束、测距、测速、测角及多目标识别、跟踪预测等过程，功能不断完善，探测距离不断增加，探测精度不断提高，目前产品已与BOSCH公司LRR1产品相当。



77GHz车载防撞
雷达核心处理板



77GHz车载防撞
雷达产品



实际路况跑车试验



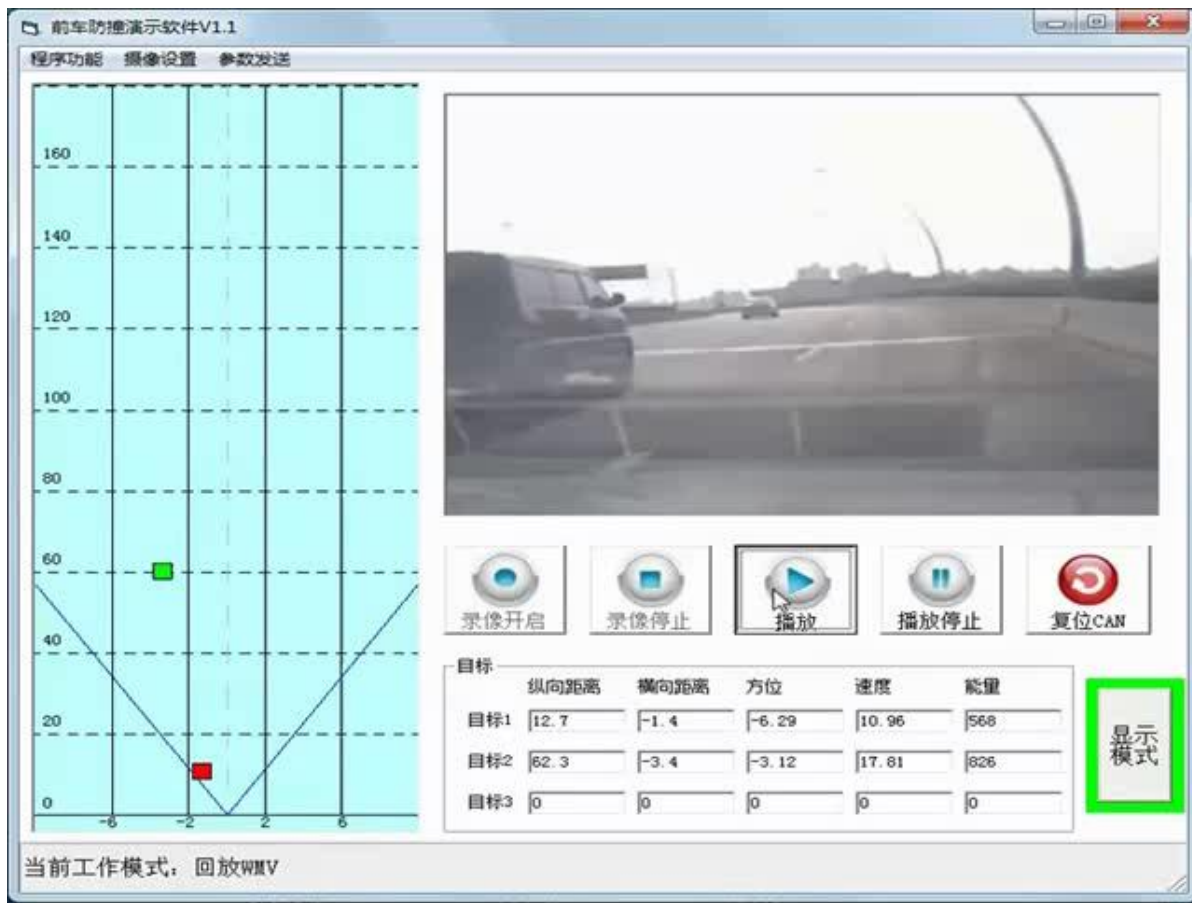
77GHz车载防撞雷达
行车试验安装图



国内现状

77GHz车载防撞雷达跑车视频

77GHz车载防撞雷达
实际路况跑车视频。





国内现状

77GHz车载防撞雷达

上海无线电设备研究所已突破的关键技术：

方位 → 77GHz毫米波双通道比幅比相方位识别技术

增益 → 大动态范围自动增益控制零中频接收机技术

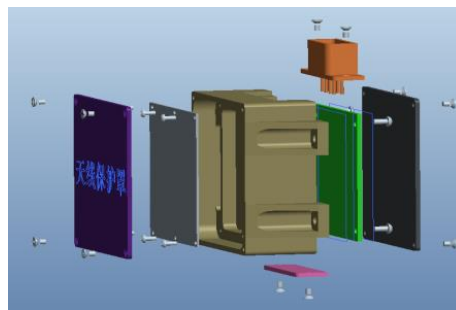
总体 → 77GHz线性调频连续波体制雷达总体技术

集成 → 模拟/数字混合信号处理集成技术

散热 → 一体化集成热处理技术



多目标
识别



产品
结构图



模数
集成



国内外现状

77GHz车载防撞雷达

项目	802所77GHz雷达指标	BOSCH雷达指标
发射频率	77GHz	77GHz
发射功率	10dBm	10dBm
测距范围	0.5m~150m	0.5m~150m
测距精度	1m	1m
测速范围	-120km/h~+120km/h	-80km/h~+120km/h
测速精度	<1m/s	<1m/s
水平波束覆盖范围	30°	30°
垂直波束覆盖范围	4°	4°
角分辨率	1°	4°
跟踪目标数	32	32
功耗	12W	20W





国内现状

77GHz车载防撞雷达芯片

成本及集成度要求更高：

传统毫米波芯片采用
砷化镓或锗硅半导体工艺

- 砷化镓：成本高，主要针对国防、太空及卫星应用。
- 硅 锗：集成度提升有限，生产线稀少。



● CMOS工艺：降低造价，提高集成度(单芯片)。

● 国外：CMOS量产射频芯片已达60GHz以上；

● 国内：CMOS量产射频芯片尚停留在10G以下频率。

● 77GHz车载防撞雷达芯片的全球市场需求在未来五年将呈现30%的年增长速度。





国内现状

77GHz毫米波雷达芯片

国际垄断：全球仅两家供应商

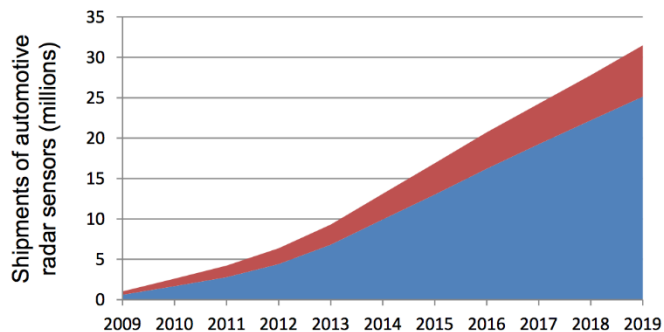
英飞凌

飞思卡尔

均采用锗硅(SiGe)半导体工艺



- ◆国内目前仅有1~2家企业开展了24GHz芯片研发；
- ◆尚无一家的77GHz毫米波芯片供应商



Source: Strategy Analytics, 2012

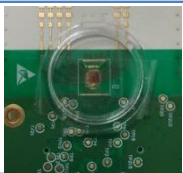
●急需自主研发77GHz毫米波芯片



国内外现状

77GHz毫米波雷达芯片

对标参数	飞思卡尔	英飞凌	加特兰
半导体工艺	SiGe	SiGe	CMOS
封装方式	eWLB	eWLB	eWLB
毫米波前端芯片数量	3芯片方案	3芯片方案	单芯片方案
是否集成毫米波锁相环?	否	否	是
发射机功耗	1.75W	1.79W	0.15W
前端总功耗	>2W	>2W	<0.6W
FMCW数字调制	yes	yes	yes
电源电压	3.3V	1.5V	1.5V
SPI interface control	Yes	Yes	Yes
MIMO	multi-chip configurable	multi-chip configurable	multi-chip configurable
发射机输出功率	11dbm	14dbm	10dbm

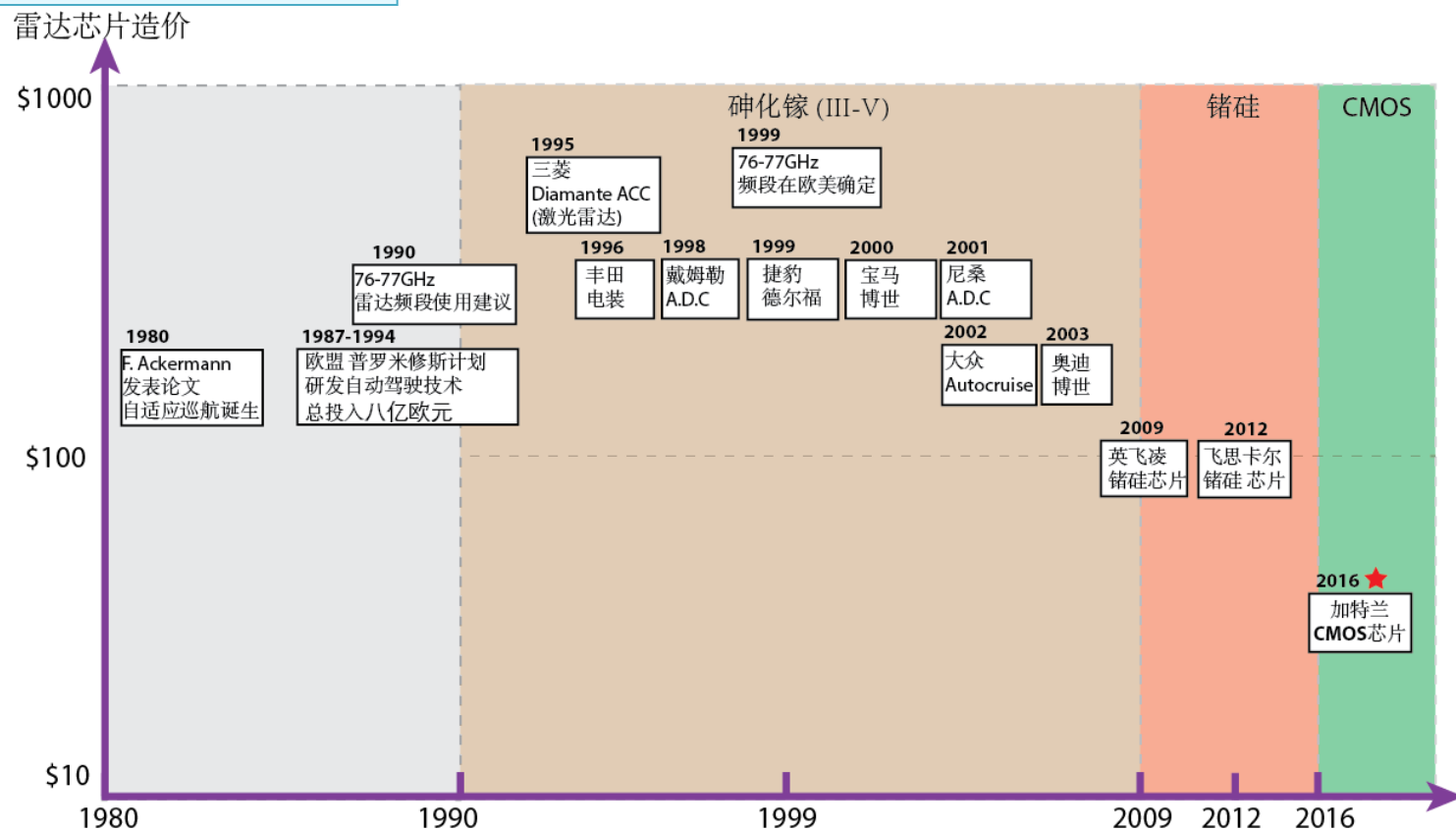


以CMOS工艺的77GHz芯片为重点研发对象的新一代车载防撞雷达正在研制阶段。



国内外现状

77GHz车载芯片国内外比较



基于CMOS芯片的 新一代77GHz雷达



主要特点

- 采用基于CMOS工艺的毫米波芯片，雷达量产价格进一步下降到600元以下。
- 采用数字波束合成，多通道处理，探测分辨率高，更适合在中国道路交通复杂路况环境下使用。
- 长、中、短距探测模式可根据需要切换，用途更广。



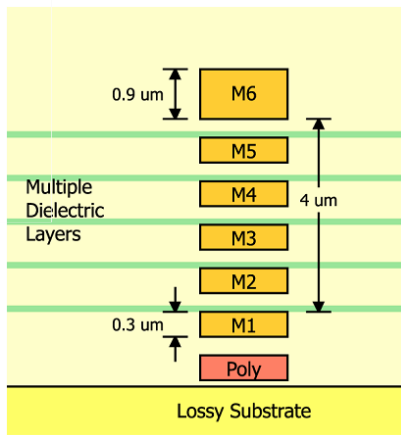
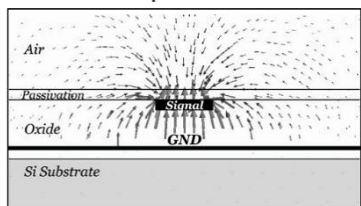
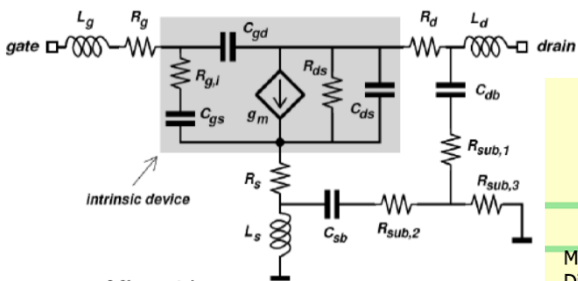


基于CMOS工艺的毫米波电路设计

传统昂贵半导体工艺 低成本先进硅工艺

GaAs/SiGe

CMOS



• 面向毫米波集成电路的MOS管模型

- ✓ 考虑寄生效应
- ✓ 优化最大功率增益(G_{max})

• 毫米波用无源器件（电感、电容）

- ✓ 基于电磁场仿真的再建模
- ✓ 流片测试与验证

• 电感或传输线设计

- ✓ 放大器的增益和面积
- ✓ 振荡器的阻抗匹配和Q值

• 版图与物理设计

- ✓ 定义主动元件和无源元件的边界



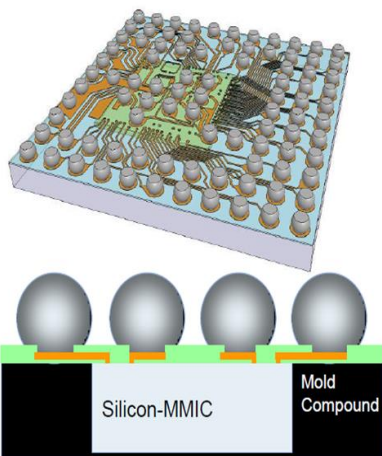
毫米波芯片封装与测试技术

传统封装

高损耗

嵌入式封装

低损耗



•毫米波芯片封装

- ✓倒扣芯片封装 (Flip Chip)
- ✓基于电磁场仿真的封装设计

•毫米波芯片测试

- ✓De-embedding技术
- 针对毫米波测试的探针平台





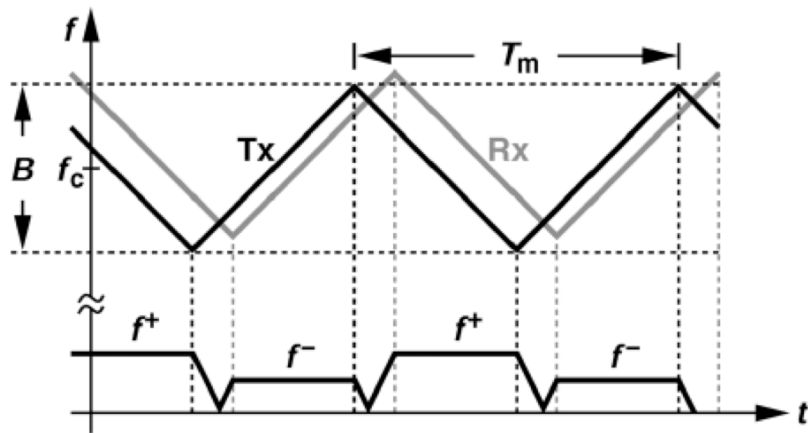
多输入输出的雷达收发机的架构

多芯片方案

收发分离

单芯片方案

收发集成

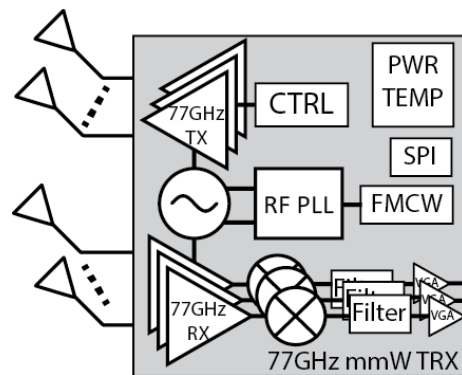


• 调频连续波(FMCW)

- ✓ 多普勒效应与FMCW原理
- ✓ 距离、相对速度及方位测量

• 高集成度MIMO收发机架构

- ✓ 发射机
- ✓ 接收机
- ✓ 基带滤波
- ✓ 频率信号综合器
- ✓ 电源管理
- ✓ 数字控制接口
- ✓ 多通道MIMO





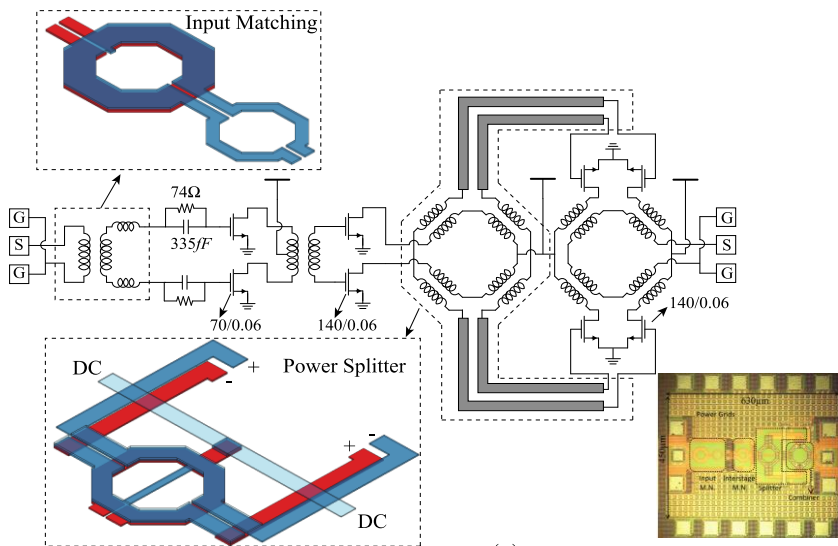
高功率高效率的发射机

低效率、高能耗

高效率、低能耗

高电压

低电压



• CMOS毫米波功率放大器

- ✓ 低电压工作
- ✓ 实现较低的负载阻抗
- ✓ 实现高增益

• 支持多端口输入的Active Transformer架构

- ✓ 工作频率范围：77GHz
- ✓ 工作带宽：>5GHz
- ✓ 损耗：<1.5dB





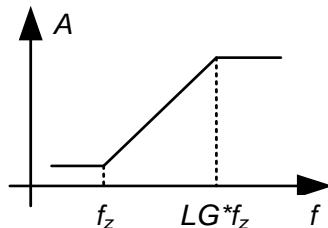
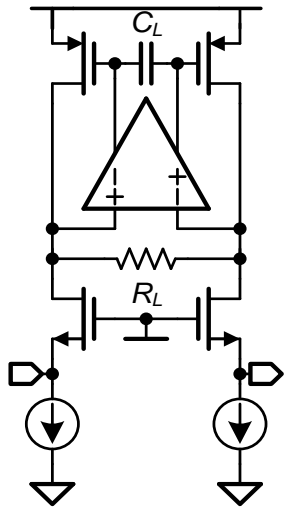
高动态范围的接收机

高速单目标

长距高低速多目标

小动态

大动态



• 纳米CMOS下的接收基带设计

- ✓ 低电源电压、低功耗
- ✓ 低摆幅、线性度
- ✓ 噪声系数优化

• 高动态范围接收机架构

- ✓ 低噪声放大器(LNA)
- ✓ 跨阻放大器 (TIA)
- ✓ 可变增益放大器组 (VGA)
- ✓ 饱和检测器 (Peak Detector)

• 高通滤波器组

- ✓ 压制低频干扰
- ✓ 快速建立模式





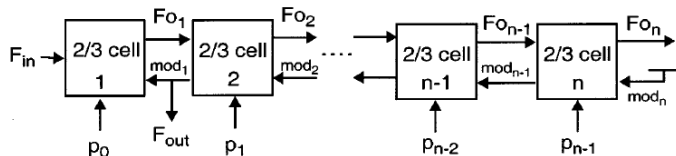
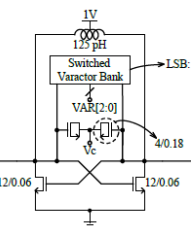
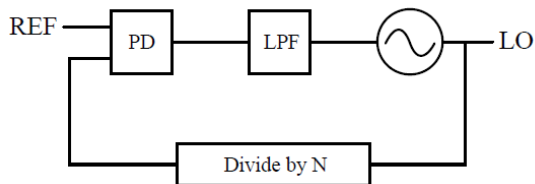
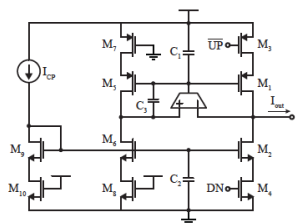
FMCW信号综合

开环调频

闭环锁相控制

VCO

PLL



•FMCW信号频率综合器

✓闭环：毫米波锁相环(PLL)

•毫米波压控振荡器(VCO)

✓高精度数模混合调频

•毫米波分频器(Divider)

✓多模分频器 (除2/除3)

✓小数分频与MASH Sigma-Delta 调制

✓电流模式分频器电路 (CML)

✓真单向动态分频器电路 (TSPC)

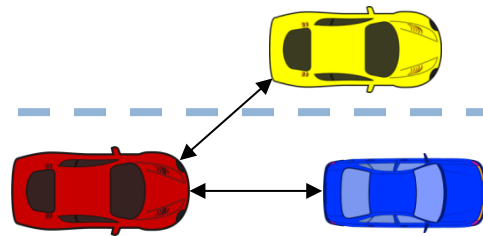
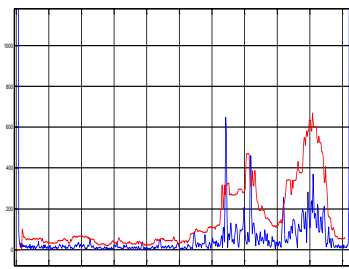
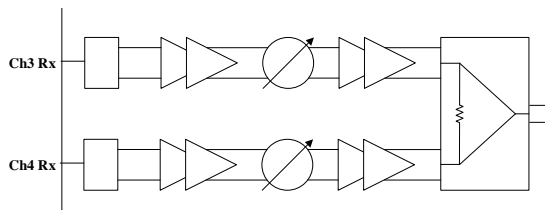
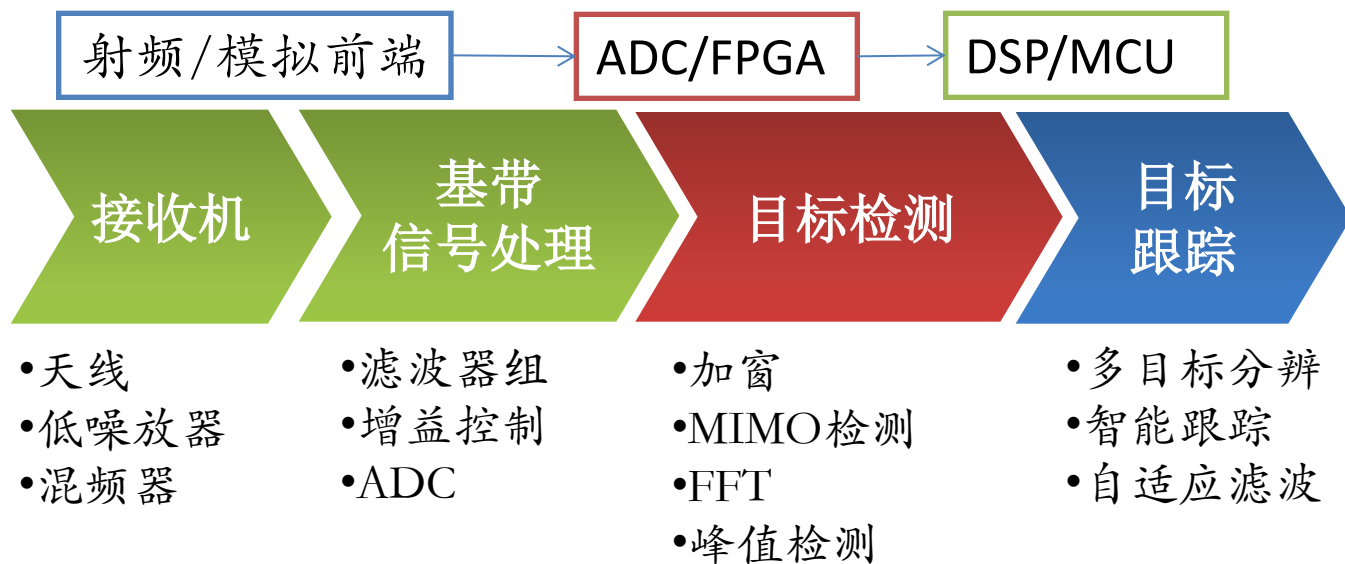
•电荷泵 (Charge Pump)

✓运算放大器补偿电流失配

✓片上无源环路滤波器



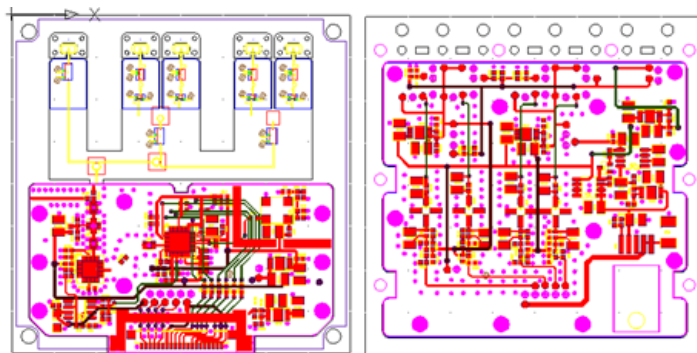
FMCW雷达信号检测及数字算法



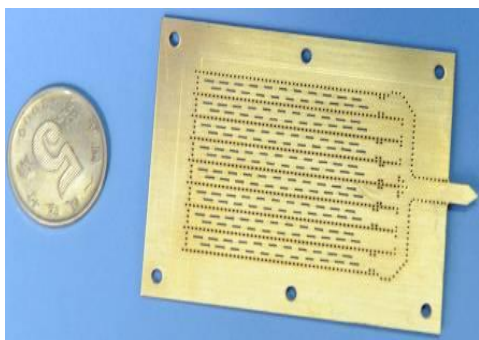


车载防撞雷达小型化、高可靠性研究

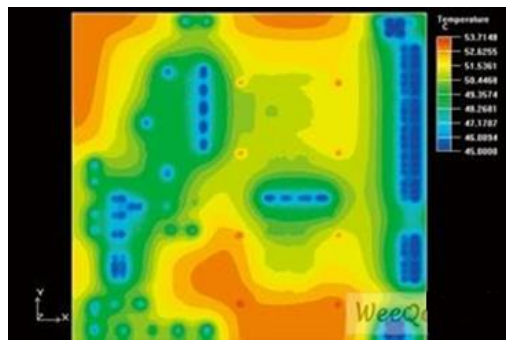
将电源模块、模拟信号处理模块、数字信号处理模块进行集成和热设计，以降低成本，缩小体积，提高可靠性。



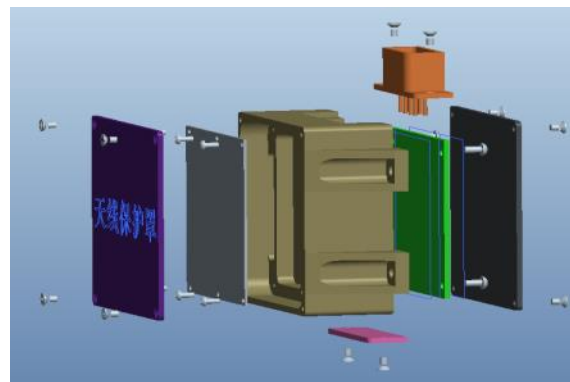
微波电路设计



天线小型化设计



热设计



小型化设计



关键技术

- 👉 高功率、高效率的毫米波CMOS功率放大器
- 👉 宽频毫米波压控振荡器与锁相环
- 👉 高线性度、低噪声接收机
- 👉 收发机双工与隔离
- 👉 低相噪低功耗小型频率源技术
- 👉 多目标识别技术
- 👉 精确信息提取技术





关键技术

高功率高效率的毫米波CMOS功率放大器

- 毫米波的功率合成技术

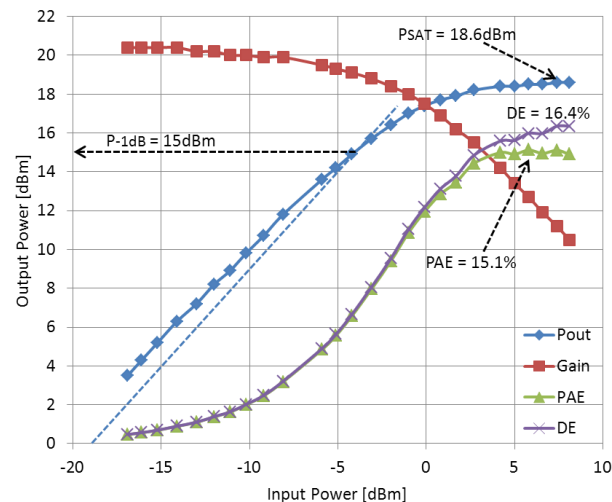
- 电流合成
- Wilkinson 功率合成
- 变压器功率合成

- 关键因素

- 功率增强比
- 插入损耗
- 芯片面积

- 支持多端口输入的射频变压器架构

- 工作频率范围：76~81GHz
- 最大输出功率：18 dBm



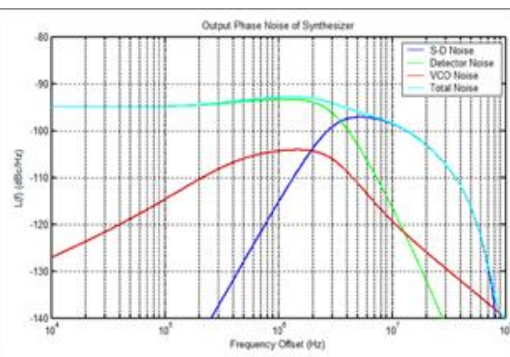
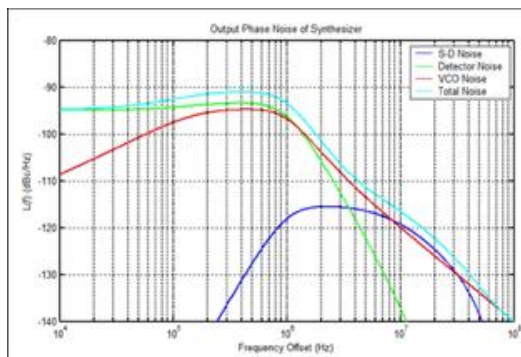
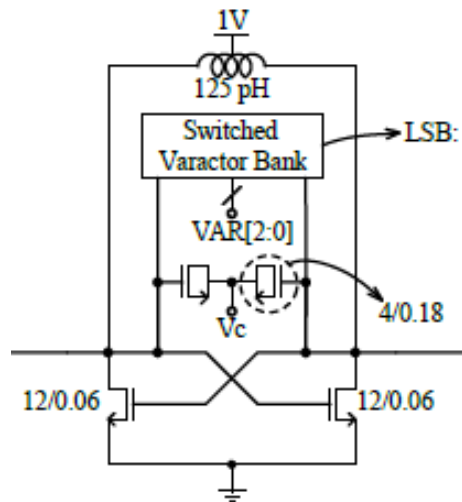
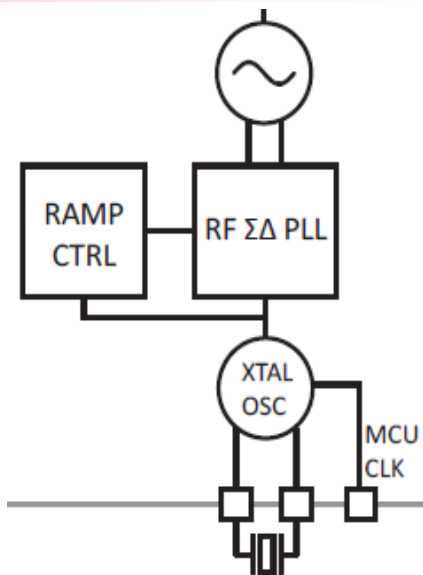


关键技术

宽频毫米波压控振荡器与锁相环

• 毫米波锁相环

- 宽频压控振荡器
- 低相位噪声
- 高稳定性
- 锁相环的抗干扰能力
- 高速扫频能力





关键技术

高线性度低噪声系数的接收机

- 线性度要求

- 高阶谐波 (Harmonic Distortion)
- 交调 (Inter Modulation)

- 噪声要求

- 决定最大探测距离
- 接收基带传递函数

收发机双工与隔离

- FMCW雷达传感器

- 双工
- 同频
- 接收与发射信号的相互干扰

- 收发机隔离技术

- 基于电磁场仿真
- 封装、衬底、天线泄漏与建模
- 载波泄漏消除技术

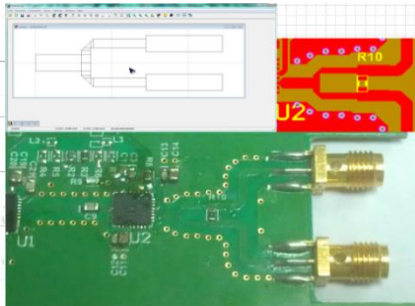
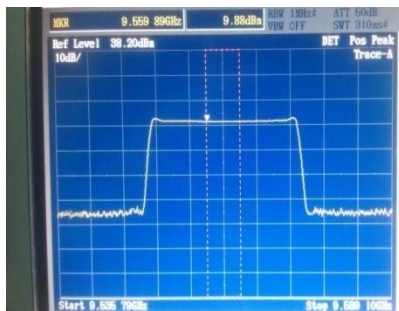




关键技术

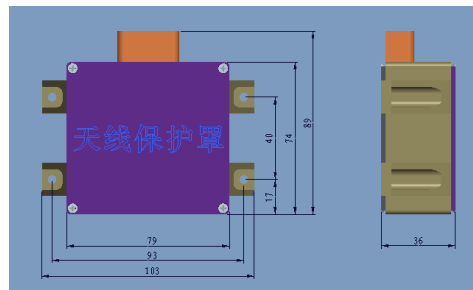
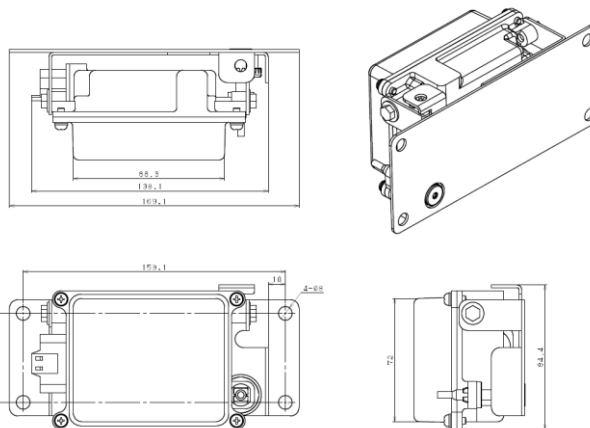
低相噪低功耗小型频率源技术

- 汽车防撞雷达低相噪低功耗小型频率源技术。



低相噪小型频率源

- 使其更加适应整车结构与车体环境。



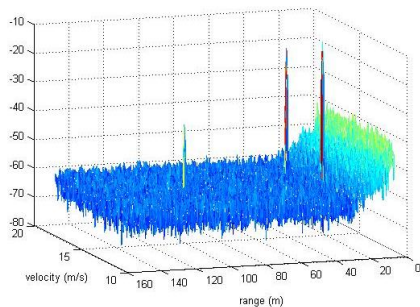
外型结构



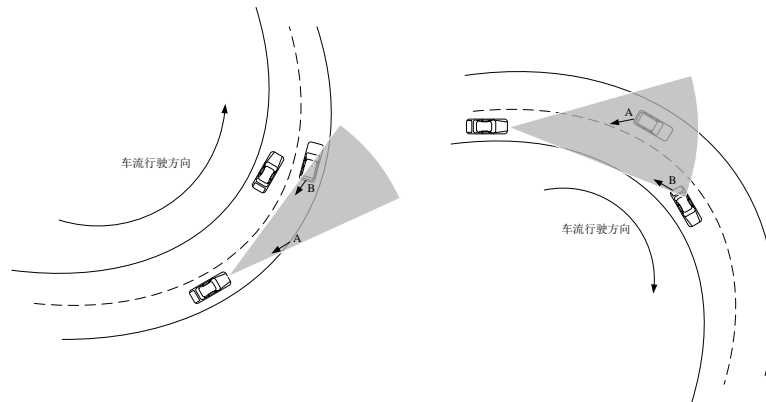
关键技术

多目标识别技术

- 在具有**多车道识别能力**基础上，通过算法升级，使防撞雷达具有了**多目标测距预警能力**和**弯道行驶目标的车道识别能力**。



多目标识别技术



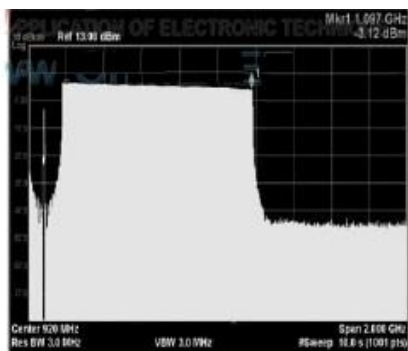
汽车弯道识别技术

- 多目标测距、测速与监控识别
- 汽车防撞雷达对弯道行驶目标的车道识别技术



关键技术

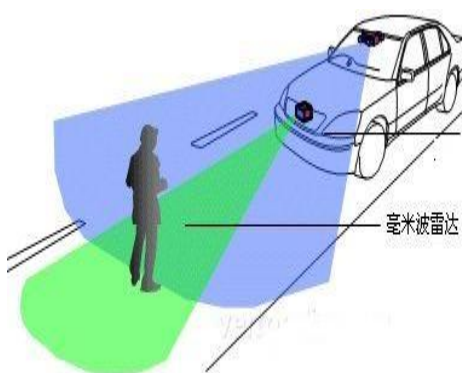
精确信息提取技术



带宽为 1 000 MHz 线性调频
宽扫频带宽



高测距分辨率



低小目标探测



环境感知

目标精确识别

雷达幅度、相位、
频谱和极化



物理特性参数

环境特性感知

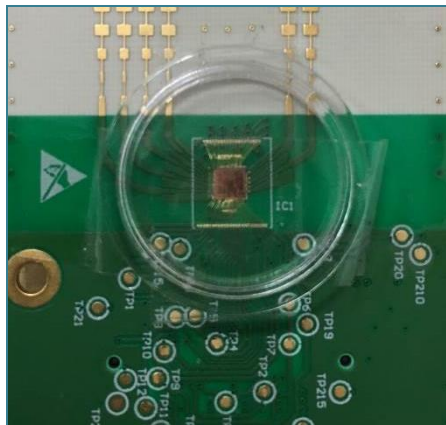
环境精确
特征提取



环境特性参数



77GHz车载防撞雷达芯片



指标	参数
工艺	CMOS
工作频率	76-81 GHz
扫频带宽	> 500 MHz
接收机噪声系数	< 18 dB
发射机功率	> 9 dBm
功率	< 600mW
锁相环 100KHz相位噪声	< - 80 dBc/Hz
接收端基带增益	> 70 dB
接收通道	4
发射通道	1



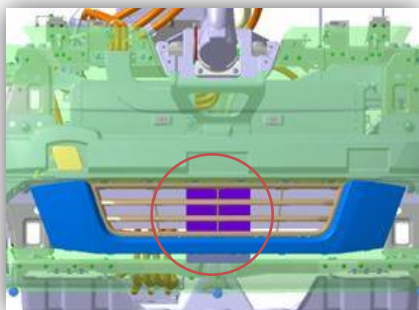
77GHz车载防撞雷达系统指标



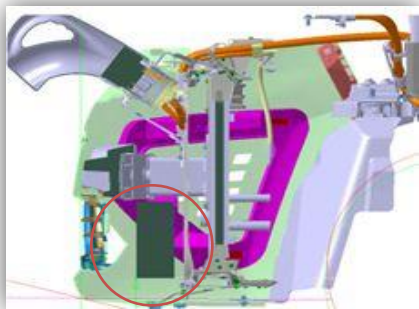
指标	参数
发射频率	77GHz
探测距离	1~200m
测距精度	<0.5m
速度范围	-60m/s~60m/s
水平波束覆盖范围	30°
垂直波束覆盖范围	4°
角分辨率	0.5°
调制方式	FMCW
与整车接口协议	CAN
与车辆通信速率	1Mbps
雷达数据更新速率	50ms
使用温度范围	-40℃~85℃
功耗	8W



77GHz车载防撞雷达系统指标



雷达安装正视图



雷达安装侧视图

指标		参数
机动车报警率		99.90%
摩托车报警率		99.90%
行人报警率		99.90%
与整车接口协议		eCAN
与车辆通信速率		1Mbps
雷达数据更新速率		40ms
安装位置		汽车前保险杠与发动机之间的空隙。
安装角度	水平	面向车辆正前方，角度误差 $< \pm 1^\circ$ 。
	俯仰	与地面成 90° 直角，角度误差 $< \pm 1^\circ$ 。



上海无线电设备研究所

上海无线电设备研究所成立于1965年，是我国国防无线电设备研制和生产的**核心单位**之一，上海市高新技术企业，承担**数十项863、973等国家和部级重点科研项目**，**近三年**共获省部级以上科技成果13项，其中**国家科技进步二等奖1项、国防科技进步奖2项**。依托几十年的军品研制、生产经验，积极探索军用技术的民用转化道路。经过不断发展，目前已形成**七大系列、十种型号产品**，涵盖**汽车防撞、地铁防撞预警、交通监控、有轨电车防撞、桥梁防撞、警用防撞及安防**等领域。2014年主营业务收入10亿。

主动安全雷达系列产品

<p>前车防撞雷达 预警系统</p> 	<p>地铁防撞 预警系统</p> 	<p>实时交通 监控</p> 	<p>有轨电车 雷达视频 复合探测系统</p> 	<p>桥梁防撞 系统</p> 	<p>警用防撞 雷达</p> 	<p>微波安防 雷达</p> 
--	---	---	--	---	---	---



上海无线电设备研究所

• **上海无线电设备研究所**建有国家级目标特性重点实验室、上海市电磁环境效应重点实验室、上海市目标识别与环境感知工程技术研究中心，试验设施和基础数据已转化服务于民用相关行业；拥有一支以国务院特殊津贴、国家百千万人才、上海市领军人才、上海市优秀技术带头人为核心的科研队伍。

设施和设备基础——雄厚的研发及试验平台、完备的试验检验手段



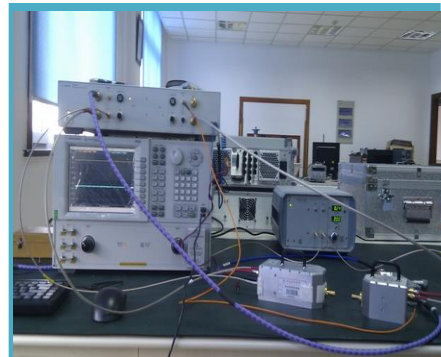
半实物仿真微波暗室



全尺寸动态滑轨试验平台



杂波测试场（大型）

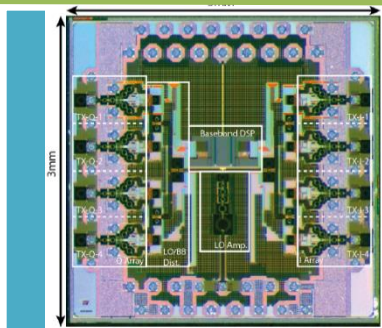


射频测试系统

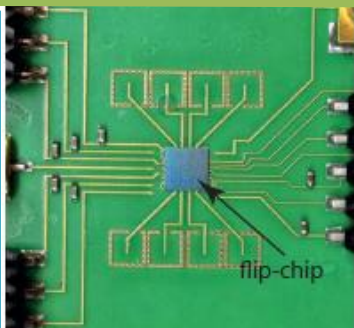


加特兰微电子

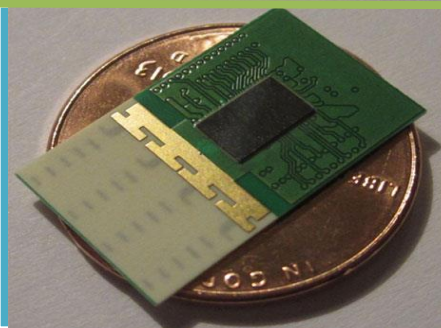
由**美国硅谷海归团队**创立，拥有世界一流的毫米波集成电路研发团队；
创始人曾研发出**全球首款商业化CMOS毫米波系统芯片(SoC)**；
团队具有多年丰富的**半导体量产无线芯片经验(WIFI/WIGIG)**；
由全球**最大**半导体投资机构**华登国际投资集团**领衔投资；
已研成功**研发出77GHz CMOS毫米波雷达收发测试样片**。



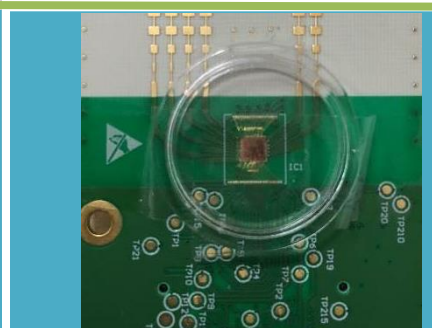
60GHz CMOS 毫米波芯片



60GHz 毫米波发射模块



60GHz 毫米波系统芯片



77GHz雷达测试样片



中国航天科技集团公司
China Aerospace Science And Technology Corporation



自力更生 艰苦奋斗 大力协同
无私奉献 严谨务实 勇于攀登

谢谢！

上海无线电设备研究所

加特兰微电子技术（上海）有限公司