



# 基于矩量法的电磁仿真 解决方案

张记隆

高级AE经理

2024-11-06



# 目录

CONTENTS

01

公司介绍

PART ONE

02

芯片级电磁仿真产品

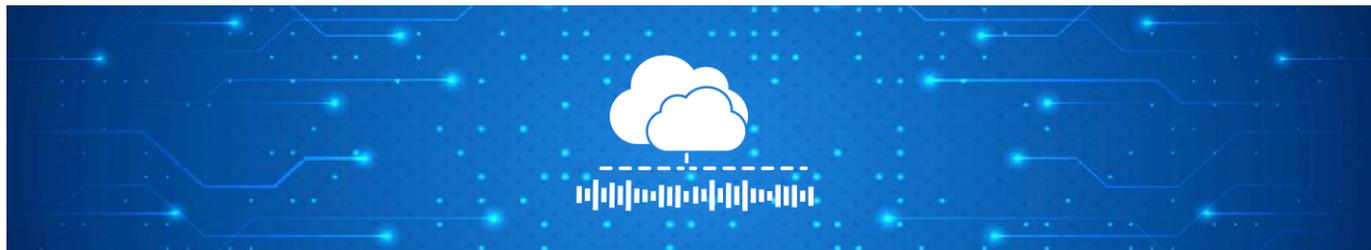
PART TWO

03

无源器件建模与设计

PART THREE

# /01 公司介绍





# ABOUT US

## 关于我们

### 用专业的心，做专业的事

九同方微电子有限公司创立于2011年11月，由源自硅谷的多名留美博士组成核心研发团队，形成海内外研发梯队，主要围绕集成电路设计EDA工具，以电磁场仿真平台为基础，并逐次递进，成为世界级多物理场解决方案提供商。



品牌化  
BRANDING



专业化  
SPECIALIZATION



国际化  
INTERNATIONALIZATION



220+  
总员工人数

15%  
博士占比

90%  
研发占比

# DEVELOPMENT HISTORY

## 精诚奋进 行稳致远

### 2011年

- 公司在湖北武汉成立

### 2019年

- 5月后，与国内TopFabless公司在射频电磁EDA工具达成战略合作
- 哈勃战略投资

### 2022年

- 发布旗舰芯片级电磁产品eWave，精度达到世界标杆水平
- 成功通过国内Top Fabless公司全场景验证，实现商用
- 成功通过国内Top Fab验证，实现商用

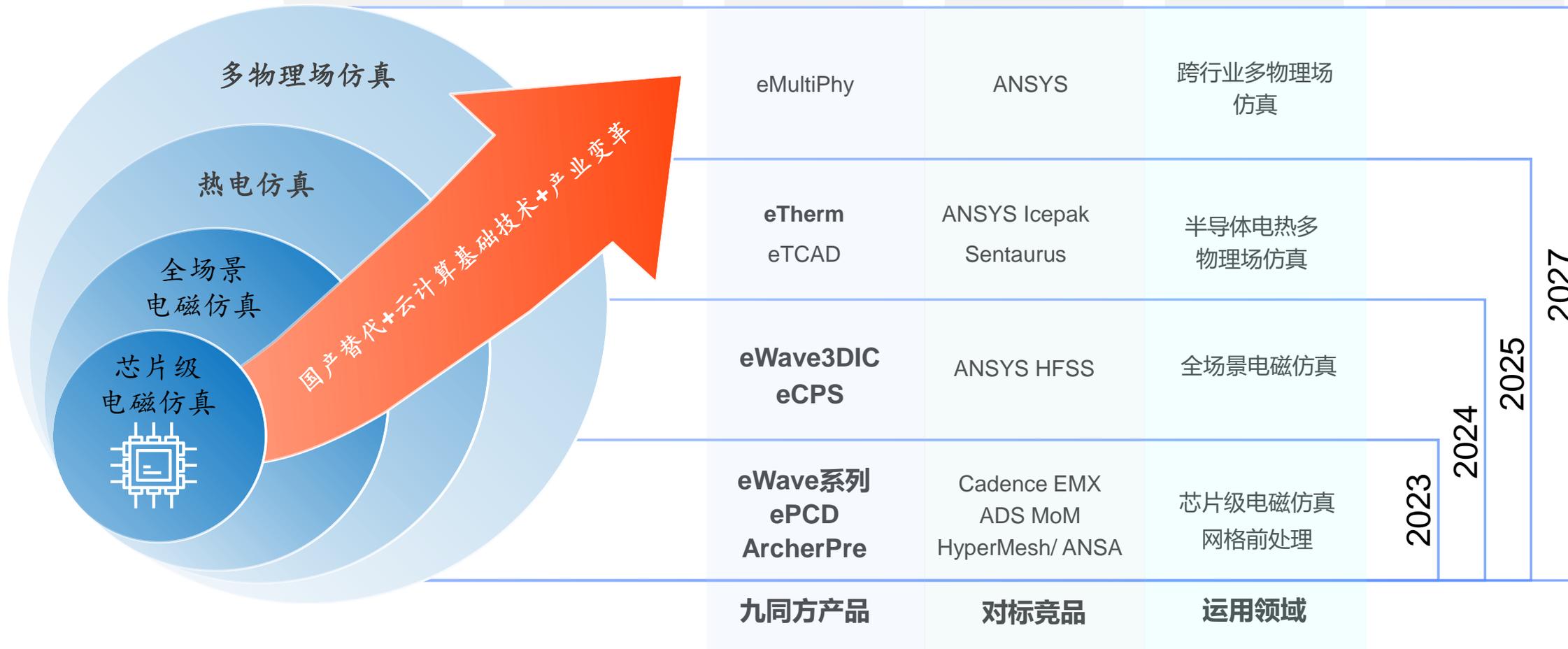
### 2023年

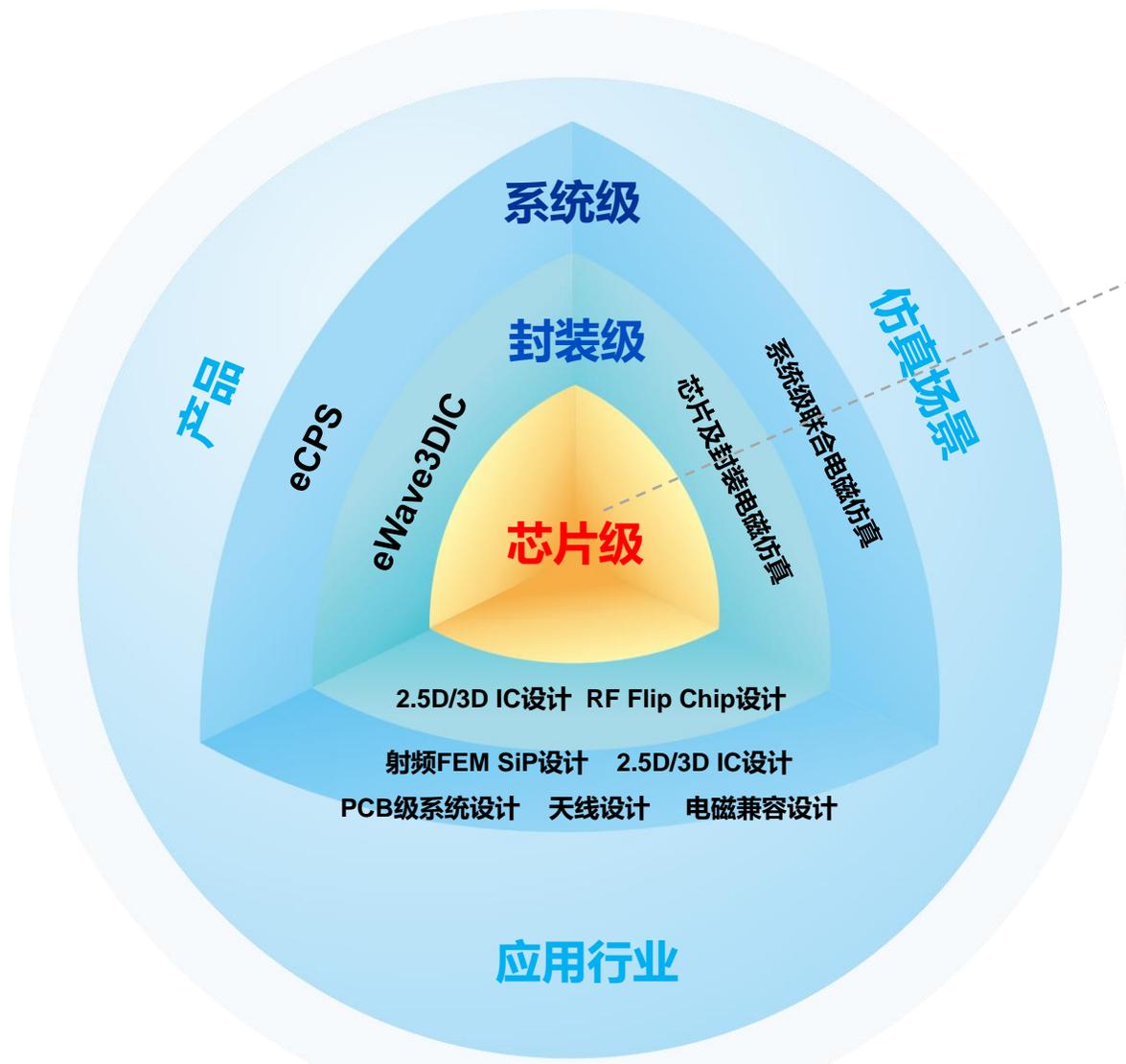
- 芯片级电磁产品eWave精度和速度均达到世界标杆水平
- 国家大基金二期战略投资
- 成立中国光谷多物理场EDA创新中心
- 助力Top Fabless客户完成国产模拟射频EDA工具串联

### 2024年

- 战略收购国内顶尖网格生成引擎公司上海格宇软件
- eWave在2024IDAS峰会被评为“革新产品十大入围名单”
- 发布电磁产品eWave-IIIIV和eWave-3DIC，支持化合物工艺和TSV等场景仿真，精度和速度达到世界标杆水平
- 完成多家Fabless的工具验证
- 完成国内多家Fab的工艺验证

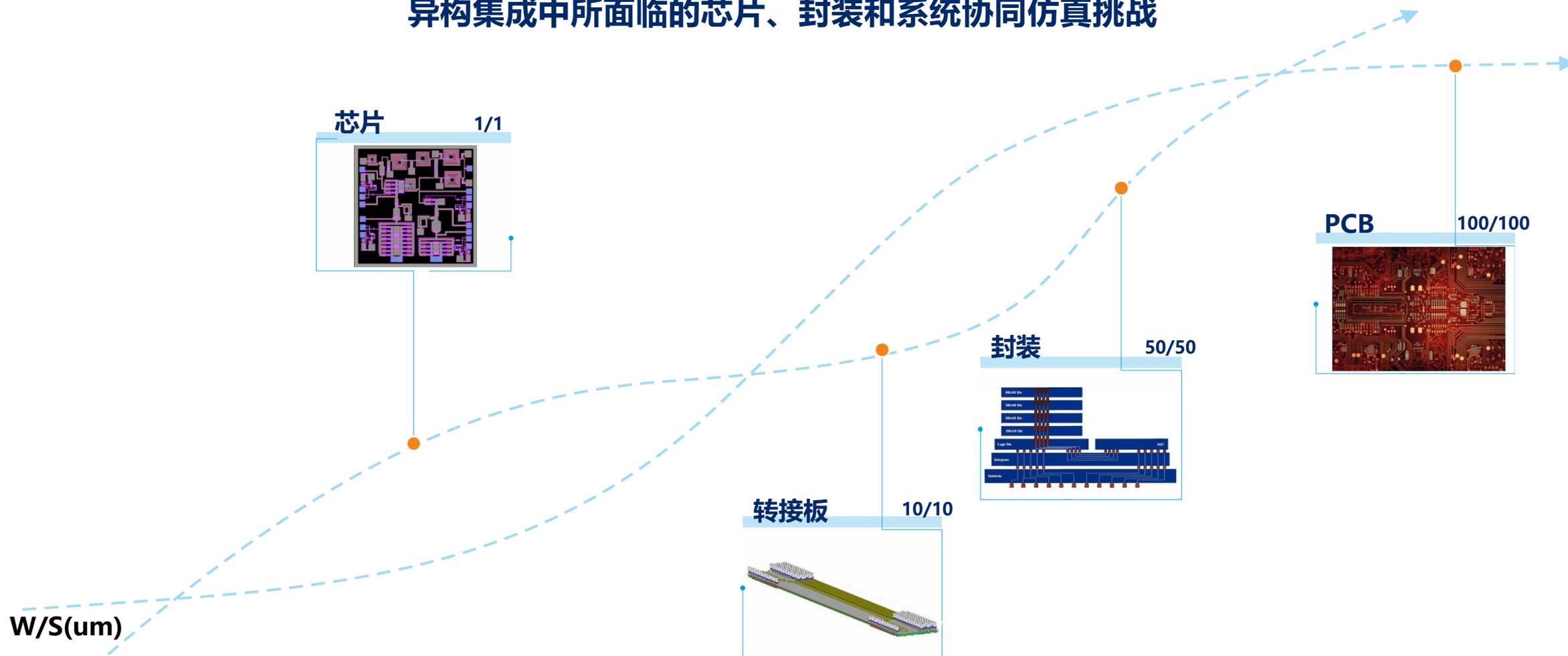
# 战略规划：打造全场景多物理场EDA平台





企业名称	硅基EM	化合物EM	Scalable Model	无源器件综合
九同方	eWave-Silicon	eWave-IIIIV	eScalmodel	ePCD
Cadence	EMX	AWR_AXIEM	ModelGen	EMX_Designer
Lorentzn Solution	PeakView_LEM	NA	PeakView_PBM	PeakView_EMD
Keysight	ADS_Momentum	ADS_Momentum	IC-CAP	Mühlhaus RFIC Inductor Toolkit

九同方MoM 求解器具备：**自适应网格、跨尺度仿真以及分布式计算**三项核心技术，可以完美解决三维异质异构集成中所面临的**芯片、封装和系统协同仿真**挑战



# /02

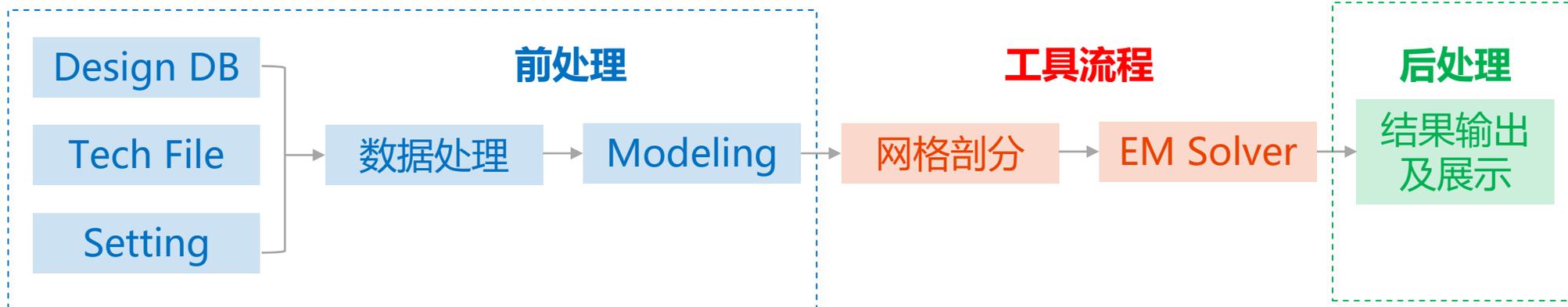
## 芯片级电磁仿真产品

- eWave-Silicon
- eWave-III V
- eWave-3DIC(TSV)



支持场景：基于体面网格+体面积分，支持硅基+化合物+TSV

## 求解流程



## 场景支持



矩量法(面积分)  
eWave-IIIIV

面积分方程SIE是根据“场的叠加原理”并结合面电流的阻抗边界条件而建立的方程

矩量法(体积分)  
eWave-Silicon

体积分方程VIE是根据“场的叠加原理”并结合体电流的欧姆定律而建立的方程

矩量法(体积分)  
eWave3DIC(TSV)

基于体积分方程，对绝缘层进行离散，计算出TSV的耦合效应

**串链介绍:** 华为举行的硬件、软件工具誓师大会上, 华为轮值董事长徐直军表示, **海思芯片设计 EDA 工具团队联合国内 EDA 企业, 共同打造14nm以上工艺所需 EDA 工具**, 基本实现14nm以上 EDA 工具国产化, 九同方电磁工具目前已全面验证, **eWave系列是硅基芯片级电磁仿真工具的首选供应商**

## 精度

场景类型	案例数	验收标准	通过率
Device器件 (L/C等)	1074	<5%	98.72%
		5%~10%	100%
综合场景 (模块级电路)	24	具体案例指标	100%

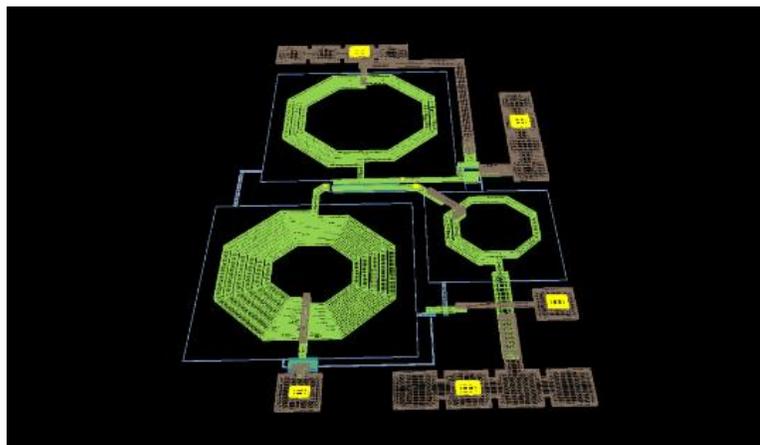
## 速度

场景类型	案例数	机器配置 (纯净环境)	eWave/Ref_X(time) 平均	eWave/Ref_X(time) 最大
片上	30	26core+1.5T	0.92	2.03
片上+封装	7	26core+1.5T	0.44	1
Device器件	60	16core+1.5T	0.9	1.75

- **Device器件包含:** 各类型Inductor, MoM Cap, Tcoil, Transformer,等
- **片上场景:** 主要是RFIC 整版layout
- **片上+封装:** 主要是针对Flip Chip射频运用等

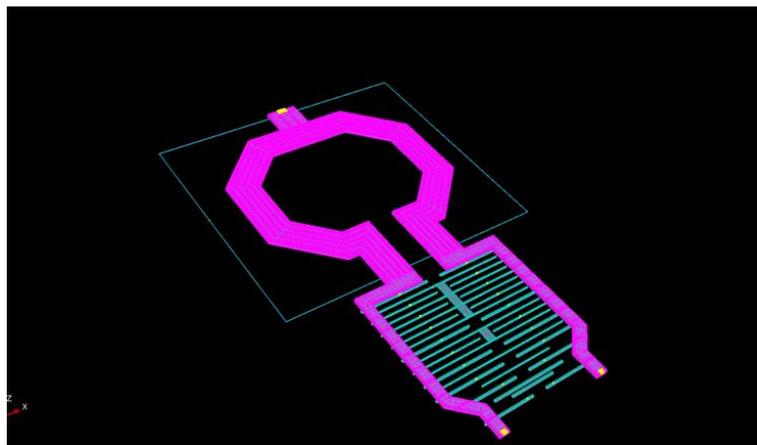
**在客户全场景测试环境中, 精度满足指标的条件下, eWave测试结果平均速度值略优于国际标杆**

## LNA案例



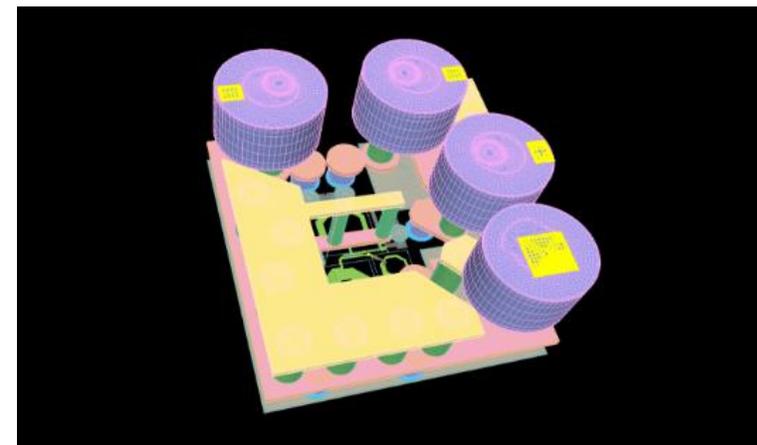
SPEC@5.5GHz	Ref_X	eWave
S11(dB)	-27.92	-26.64
S22(dB)	-8.496	-8.475
S21(dB)	15.64	15.46
NF	1.585	1.617
IIP3_right(dBm)	-1.799	-1.509
IIP3_left(dBm)	-1.754	-1.463
Sim Time (S)	2554.54	2199.52
Unknown	775545	770069

## VCO案例



SPEC	Ref_X	eWave
OSC_Freq	5.072GHz	5.076GHz
PN @ 200KHz	-114.1	-114
PN @ 1.5MHz	-132.6	-132.6
PN @ 2.8MHz	-138.3	-138.2
PN @ 5MHz	-143.5	-143.5
PN @ 10MHz	-150	-150
Sim Time (S)	763.84s	593.73s
Unknown	228400	244781

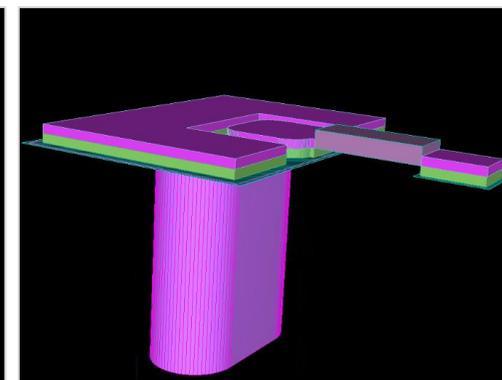
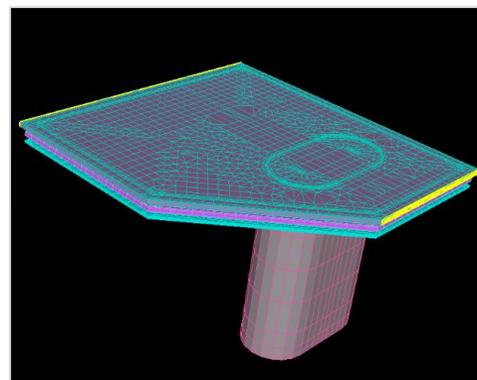
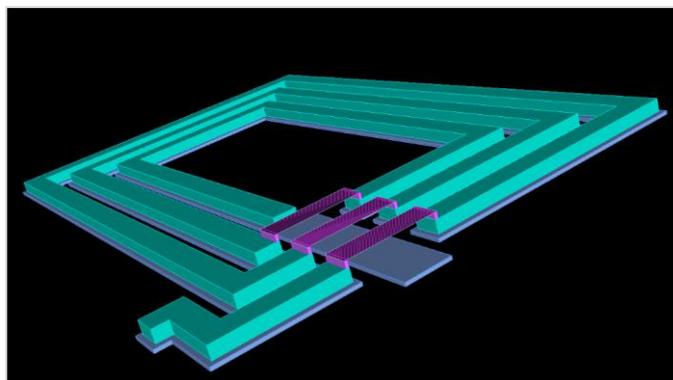
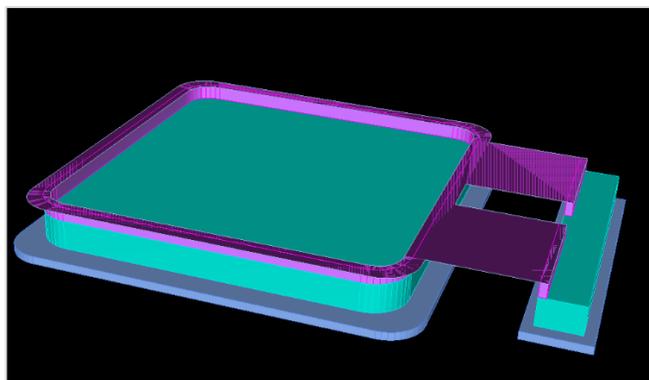
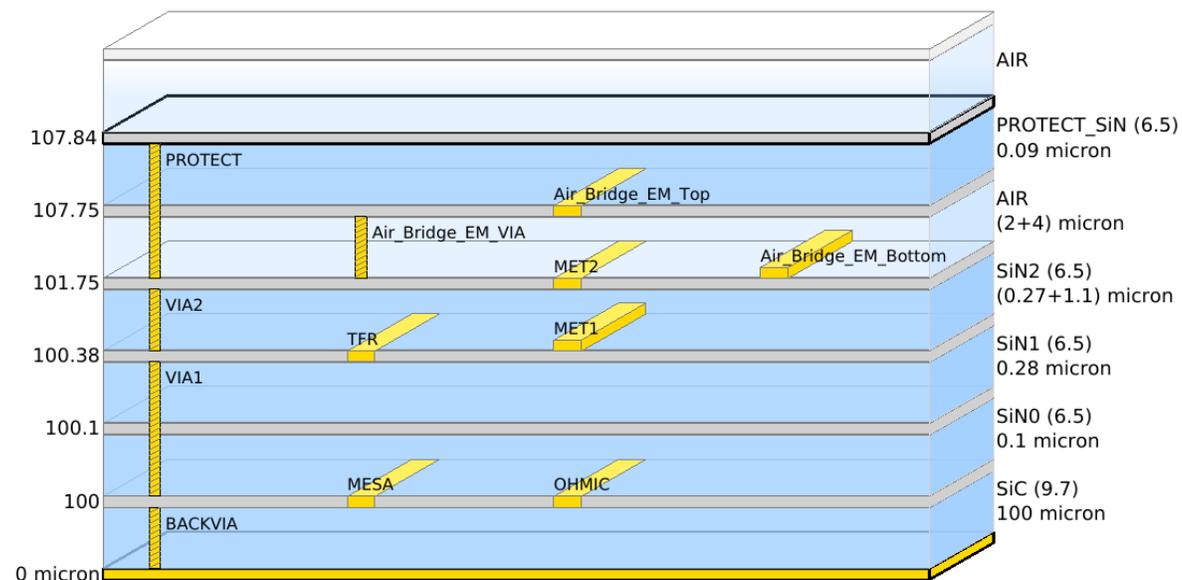
## LNA+倒装封装案例



SPEC@5.5GHz	Ref_X	eWave
S11(dB)	-7.975	-7.666
S22(dB)	-6.281	-6.477
S21(dB)	15.1	15.14
NF	1.515	1.519
IIP3_right(dBm)	-3.976	-3.981
IIP3_left(dBm)	-3.925	-3.93
Sim Time (S)	3356.42	3255.57
Unknown	881675	881339

## 支持化合物工艺中的主流应用场景:

- sheet金属
- 支持金属不同的生长方向
- 同高度不同金属
- 金属与金属直接堆叠
- Via和Via直接堆叠
- TV孔
- 支持端口参考
- 支持端口校准(TML & TML Zero Length)



## Fab A (GaAs)

## Fab B (GaAs)

## Fab B (GaN)

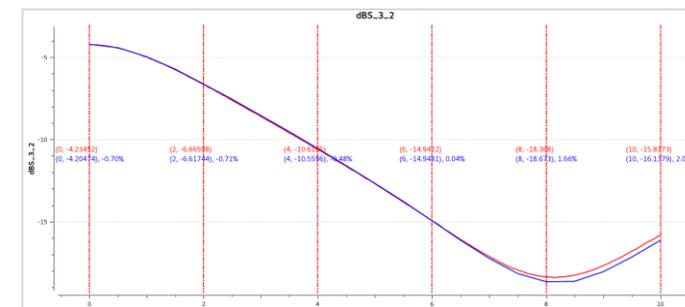
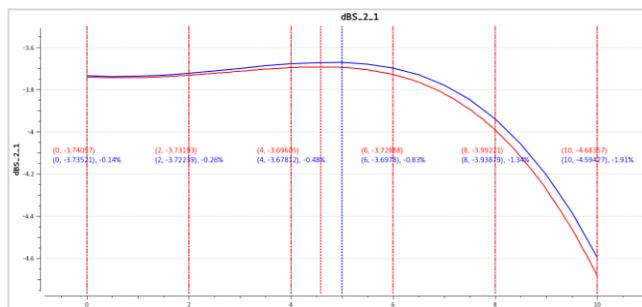
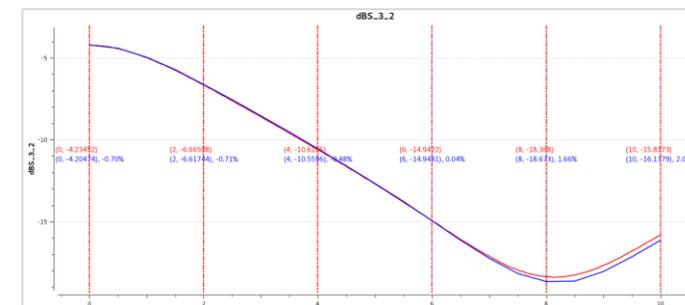
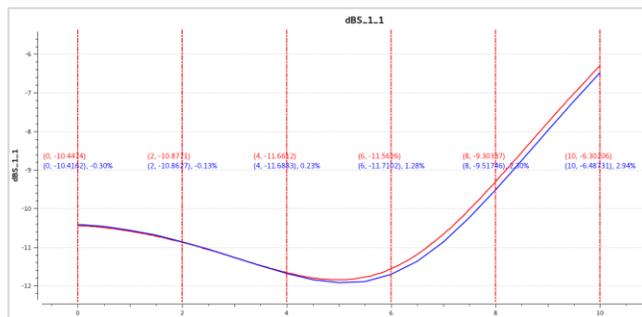
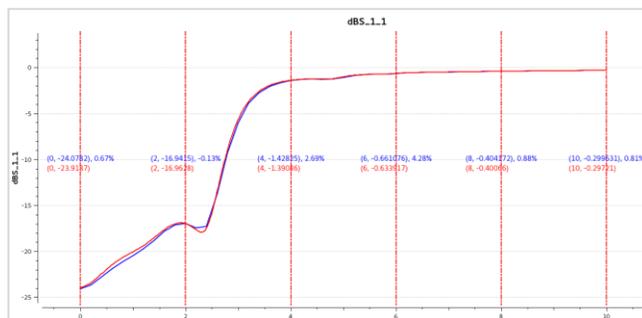
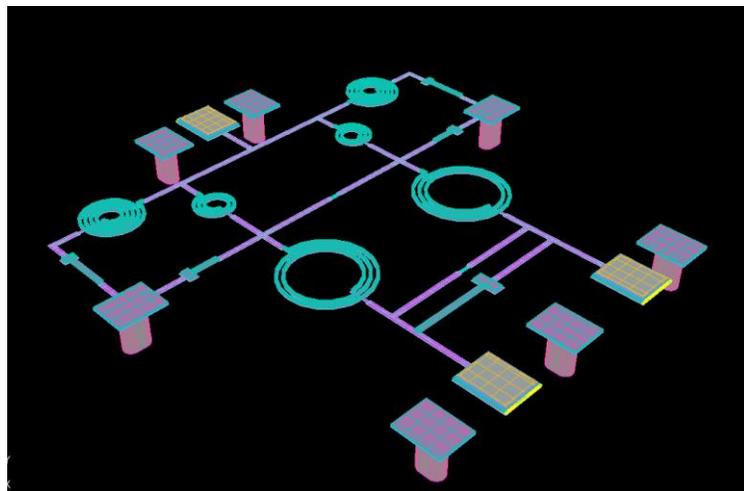
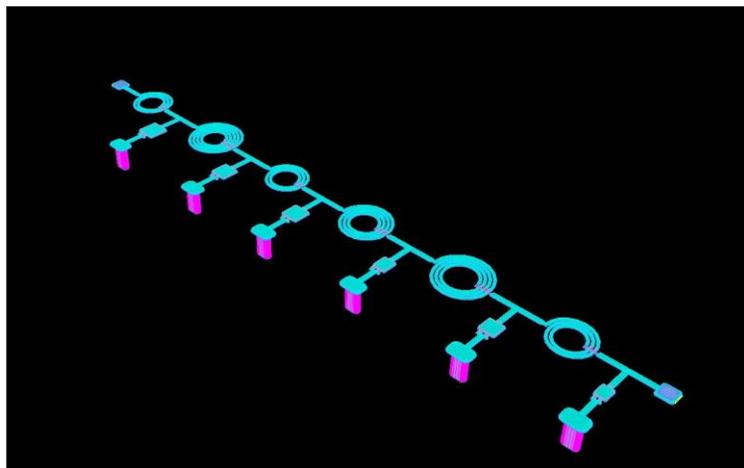
类别	数量	差值情况
MLIN	21	插损<0.1dB, 回损<0.5dB Case2:f=60GHz, $\Delta S_{11}=-1.1$ dB (Ref_A:S11=-41dB, eWave: S11=-42.1dB)
R	9	S参数<3%
L	7	L_1GHz <3%, Q_1GHz<5% 谐振点<5%
C	11	C_1GHz<3% ,Q_1GHz<5% 谐振点<5%
VIA	8	L_1GHz<3%, Q_1GHz<5%

类别	数量	差值情况
MLIN	7	插损<0.1dB, 回损<0.5dB
R	1	S参数<3%
L	2	L_1GHz <3%, Q_1GHz<5% 谐振点<5%
C	2	C_1GHz<3% ,Q_1GHz<5% 谐振点<5%
VIA	4	L_1G<3%, Q_1G<5%

类别	数量	差值情况
MLIN	10	插损<0.1dB, 回损<0.5dB
R	2	S参数<3%
L	2	L_1GHz <3%, Q_1GHz<5% 谐振点<5%
C	2	C_1GHz<3% , Q_1GHz<5% 谐振点<5%
VIA	3	L_1G<3%, Q_1G<5%

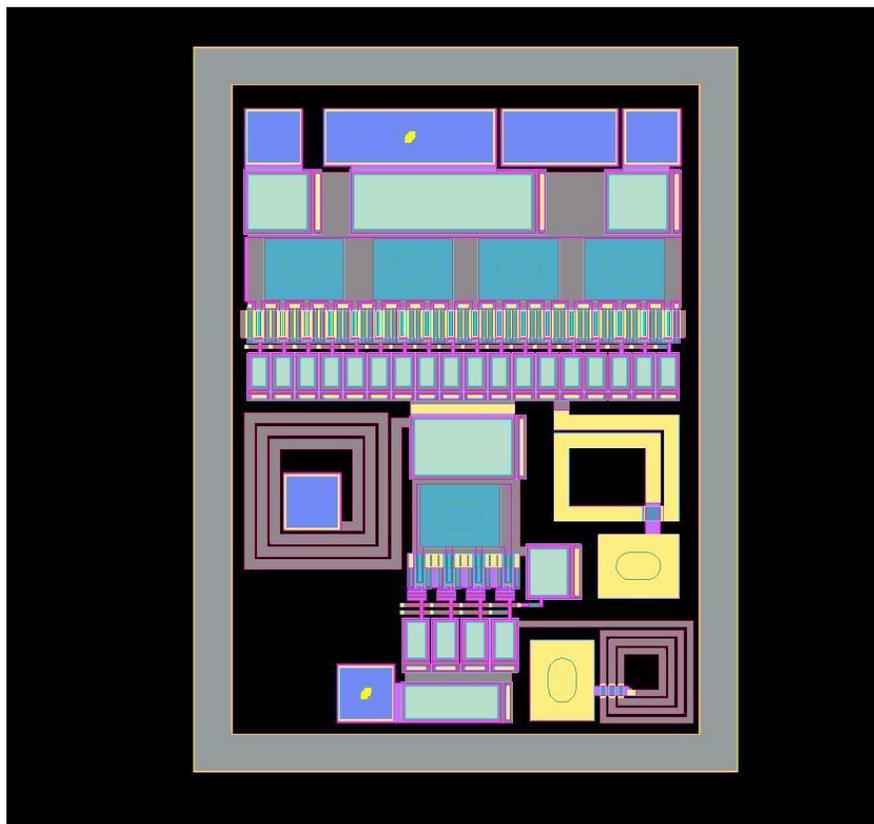
91个GaAs和GaN的PDK验证案例中，能较好的与Ref\_A精度对齐，满足业务需求

# eWave(化合物) – 路场联合仿真精度



IPD案例中，S参数与Ref\_A的差值均能低于5%以内，精度满足设计业务要求

## Sub6GHz GaAs PA 案例



## 电场路HB仿真结果(包含2nd, 3rd谐波指标)

Parameter @2.3GHz	eWave_IIIIV	Ref_A	差值
S21	28.5 dB	28.2 dB	0.3
S11	-12.9 dB	-11.7 dB	-1.2
Psat	33.79 dBm	33.77dBm	0.02
PAE(Peak)	46.24%	48.8%	2.5%
Mu	>1.21	>1.37	0.16
$2F_{\text{backoff}3.5\text{dB}}$	-3 dBm	-4.2 dBm	-1.2
$3F_{\text{backoff}3.5\text{dB}}$	-14.5 dBm	-14.7 dBm	-0.2

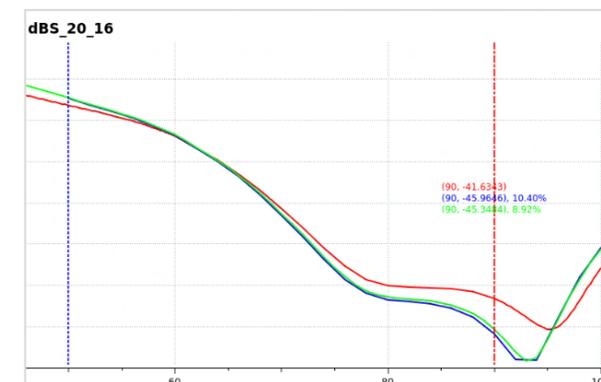
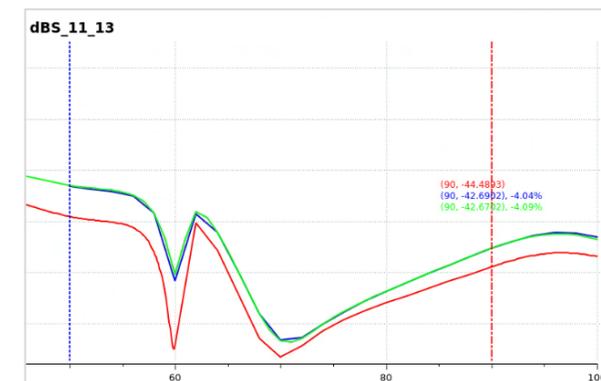
在相同路仿真器的条件下, eWave在PA关键指标精度均能较好对标Ref\_A

Ref\_A在部分场景使用矩阵非压缩模式切换到压缩求解模式时会出现**精度损失**，eWave在性能提升的同时，仍然保持着与Ref\_A不压缩模式相匹配的精度

- Ref\_A\_com
- eWave\_com
- Ref\_A\_no\_com

## Ref\_A压缩模式与不压缩模式求解时间对比

案例	未知量	压缩模式单点求解时间 (分钟)	不压缩模式单点求解时间 (分钟)	eWave单点压缩求解时间 (分钟)
Case01	102429	8	113	1
Case02	121059	10	189	1.5
Case03	143810	16	215	2.2



## 52Core, 500G内存独占机器统计结果

PDK案例	Ref_A			eWave_IIIIV			单点时间对比
案例	未知量	单点时间(s)	内存(GB)	未知量	单点时间(s)	内存(GB)	Ref_A/eWave
L	98912	375.6	36.8	114165	45.4	25.9	8.2
MLIN	65862	116.2	30.6	65895	17.9	18.3	6.5
VTW	11732	18	11.7	12266	7.2	13.8	2.6
CAP_1	16238	28.9	13.4	18012	10.7	14.8	2.7
CAP_2	1984	1.2	4.4	2099	3.58	12.1	0.33
R	433	0.25	2	461	0.73	3.7	0.34

模块案例	Ref_A			eWave_IIIIV			单点时间对比
案例名	未知量	单点时间(s)	内存(GB)	未知量	单点时间(s)	内存(GB)	Ref_A/eWave
Case01	143810	947	53	136216	135	42	7
Case02	102429	462	38	85204	54	25	8.5
Case03	70539	130	14.4	61020	42	21.4	3
Case04	21858	36	12.5	21151	35	18.5	1
Case05	8373	9	8.2	8854	14.5	14	0.6
Case06	3316	3.5	6	4071	9.5	13.5	0.36

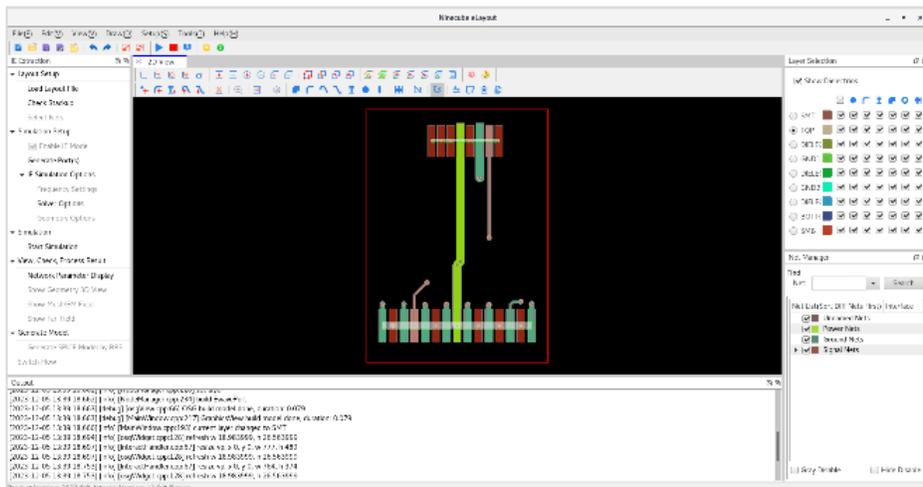
未知量大于1万的案例求解速度优于Ref\_A, 超过5万未知量求解效率是3倍以上

## 主要优势

eWave3DIC集成先进的**矩量法(MOM)求解器**。支持IC-PKG-PCB层状结构的快速导入，编辑，自动添加端口和启动仿真的向导流程。

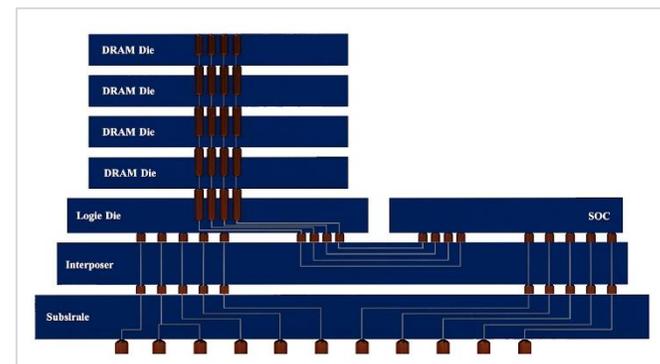
### 平台:

- 支持主流设计数据格式的转换: GDS/ODB++
- 支持按照网络筛选结构以及版图切割
- 支持参数化建模
- 支持**TSV等结构**的新建, 删除, 以及常规操作: 复制, 平移, 布尔操作等
- 支持芯片-芯片, 芯片-封装叠层和工艺合并
- 支持脚本(python-API) 操作

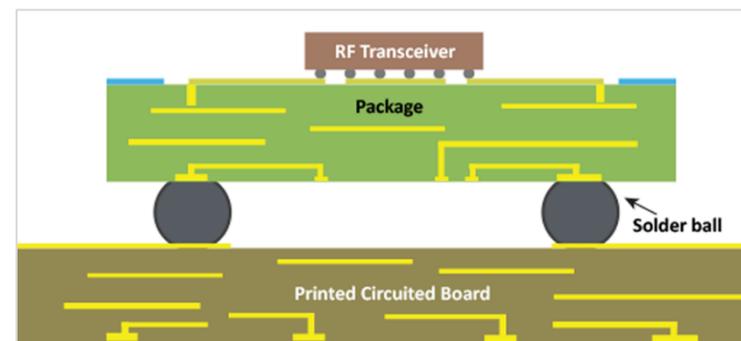


## 功能应用

### 先进封装/3DIC 分析

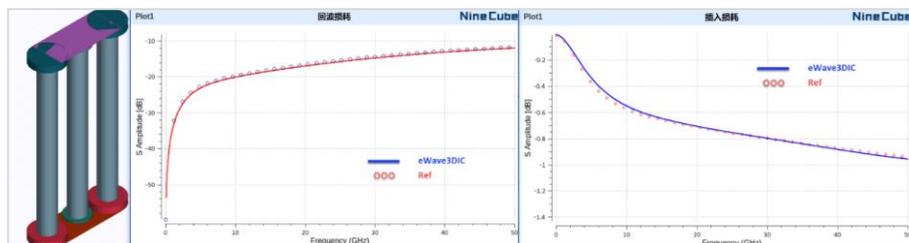


### 射频Flip Chip系统分析



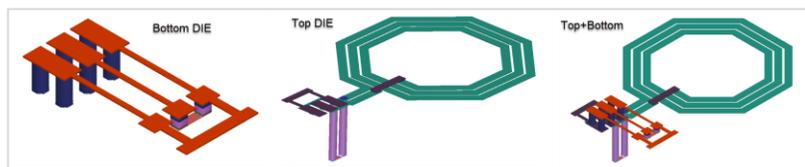
## TSV仿真

该案例是三个200um长的TSV组成的GSG(Ground-Signal-Ground)结构。通过eWave3DIC进行仿真，模型和Ref\_H结果对比如下：

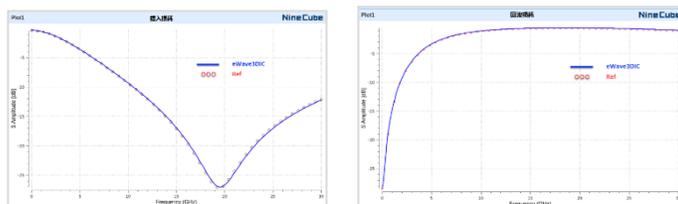


## 3DIC仿真

3DIC 通过HB连接不同的芯片。该案例通过eWave3DIC 实现芯片和芯片的互连

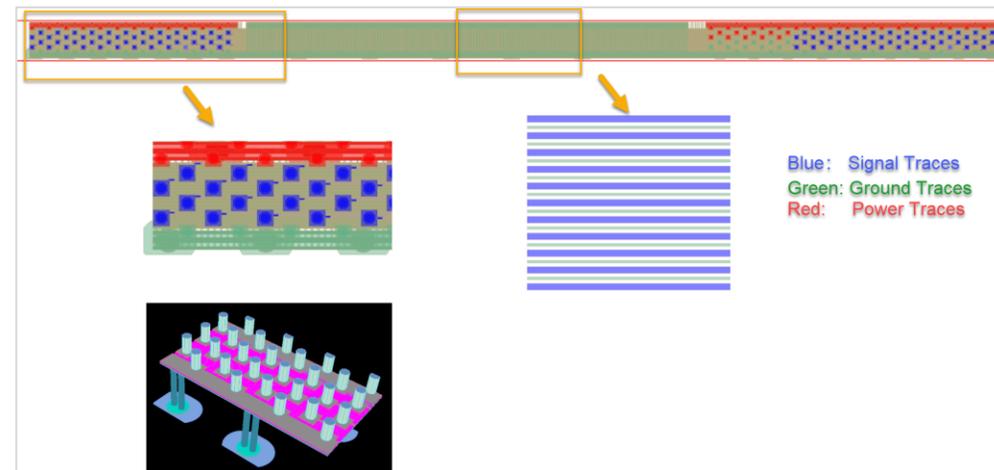


eWave3DIC 仿真精度和Ref\_H有良好的吻合

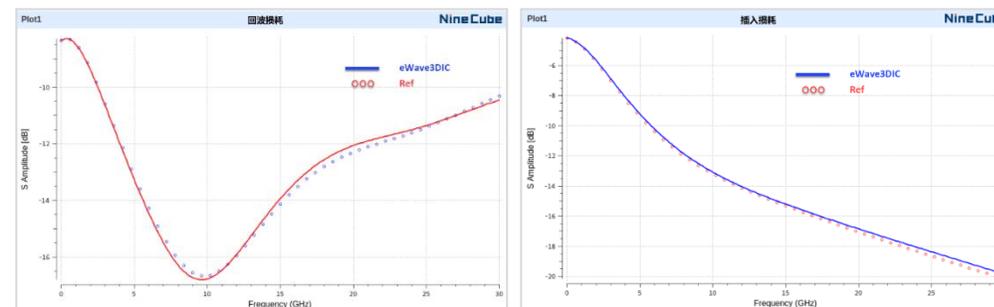


## 2.5D先进封装仿真

CoWoS 3层金属走线的先进封装案例，利用eWave3DIC 进行HBM 走线的仿真



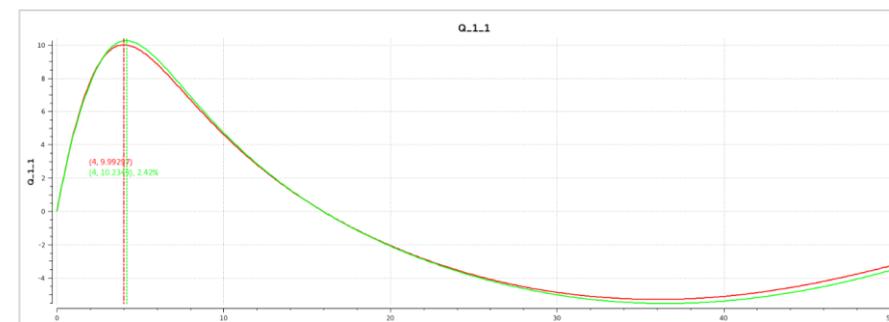
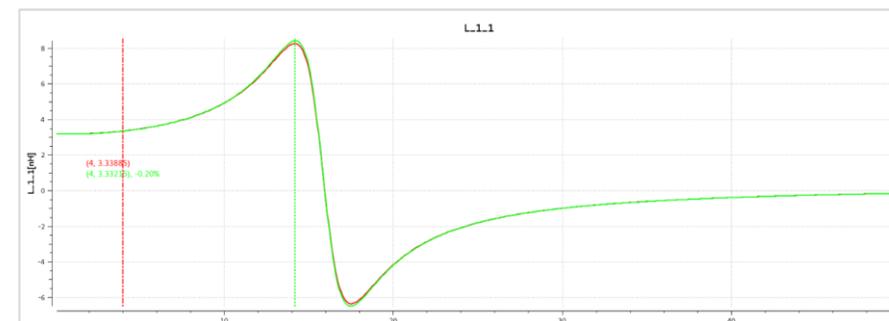
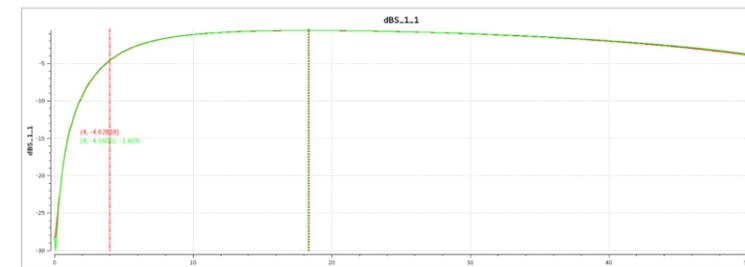
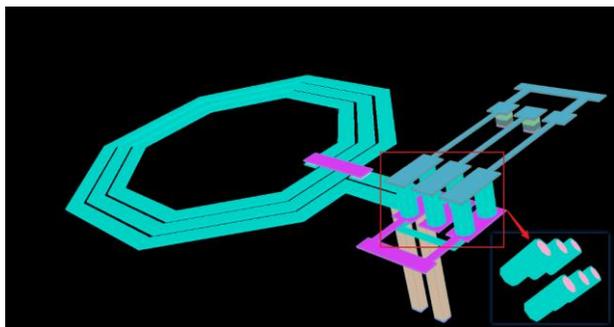
和Ref\_H的结果对比：



# eWave3DIC(TSV) -精度性能对比

在精度摸底测试中，案例指标与Ref\_H对比误差均在**5%以内**；案例**求解效率**上优于Ref\_H，会在**更复杂的案例**上进行打磨验证

No	Visible	Name	Type	Description
83	✓	PKG_solder	metal	
84	✓	APB	metal	
85	✓	BM1	metal	
88	✓	M1	metal	
89	✓	M2	metal	
90	✓	M3	metal	
91	✓	M4	metal	
92	✓	M5	metal	
93	✓	MIT2	metal	
94	✓	ALPA	metal	
95	✓	TM1	metal	
109	✓	Bump_C4	via	(84.83)
110	✓	BM1_APB_V	via	(85.84)
111	✓	TSV1	via	(95.85)
114	✓	V1	via	(89.88)
115	✓	V2	via	(90.89)
116	✓	V3	via	(91.90)
117	✓	V4	via	(92.91)
118	✓	TV2	via	(93.92)
119	✓	PA	via	(94.93)
120	✓	ALPA_TM1_V	via	(95.94)
134	✓	siliconDioxide	via	(95.85)



范围: 0~50G	eWave3DIC vs Ref_H
L_4G	0.2%
Qpk_4G	2.42%
dBS_4G	1.46%

产品	Ports	Frequency Range	未知量	峰值内存	12core 计算时间
eWave3DIC	2	0~50G	138895	7.2G	260.4s
Ref_H	2	0~50G	245402	19.8G	1248s

# /03

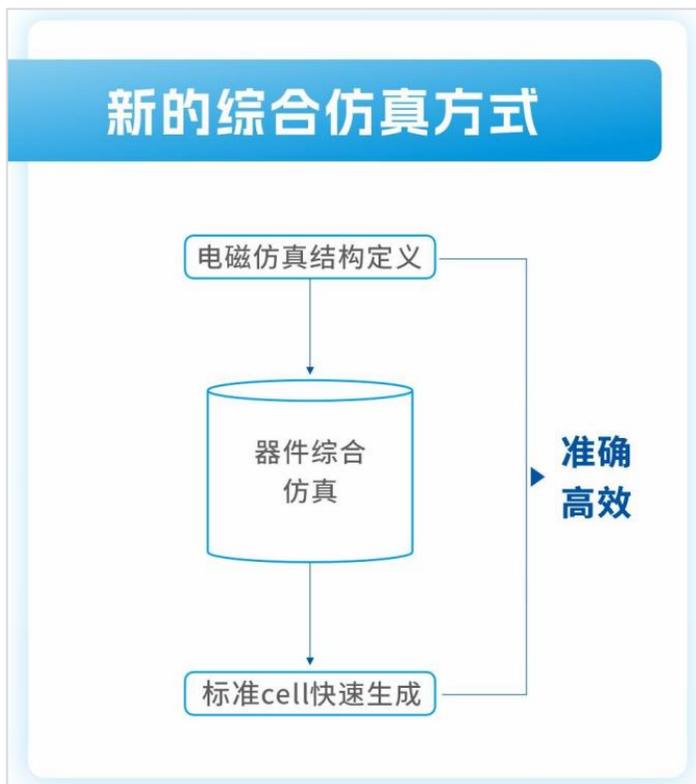
## 无源器件建模与设计

- ePCD
- eScalModel:



## ■ 产品介绍

ePCD(Parameterized Components Designer)是业界领先的无源器件设计和建模平台，为用户提供无源电路器件电学特性指标输入到标准cell输出的一站式解决方案。



## ■ 产品亮点

### 丰富的内置器件库 及可扩展性

ePCD内置器件有丰富的参数化无源器件库(7个大类, 33个子类)供用户选择, 且提供基于python的内置接口, 用户可自定义器件库以外的任意类型无源器件

### 精度和性能

ePCD为先进的片上无源器件提供准静态仿真引擎, 全局和局部的搜索算法, 可快速高效的综合出目标参数, 用于系统级电路仿真



### 模型训练

内置的eScalModel可以生成无源器件等效电路模型, 支持输出S参数及Hspice/Spectre参数化的网表文件; 快速仿真出参数变化范围内的任意电路频域模型, 为电路仿真和优化做准备

### 支持DRC及LVS检查

通过将DRC Rule内置到ptxt文件中, 做到天然的DRC check, 后置补充LVS Rule, 并实现LVS Clean

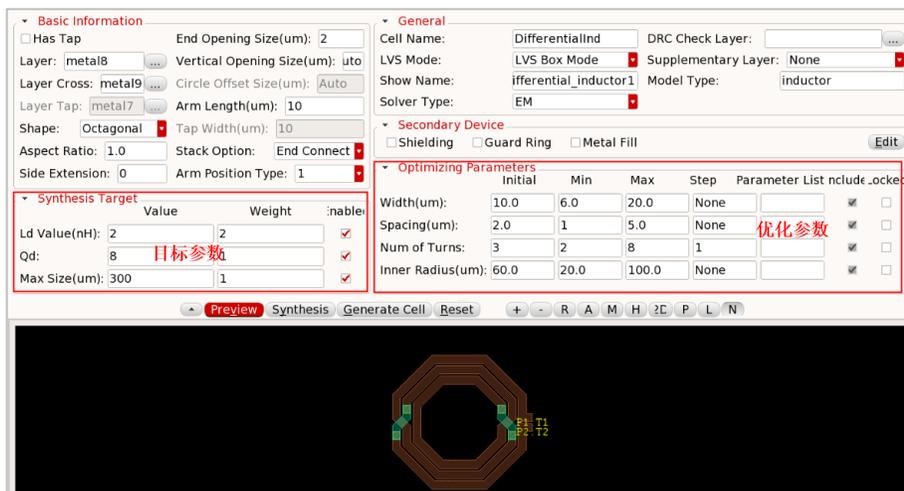
### 快速标准Cell生成

可快速生成标准的Cell并同步到Virtuoso平台, 标准Cell包含layout, schematic, symbol, auLVS, Spice model, rick model, snp

## ■ 仿真流程与设计实例

### 场景一：基于CMOS 工艺的射频电路Inductor设计

- 在2.5G频点设置目标参数：Ld=2nH, Qd>8, 最大尺寸小于300um
- 参数优化扫描范围：金属宽度[6um, 20um], 线间距[1um, 5um], 线圈匝数[2.0, 8.0], 内径[20um, 100um]
- 采用LN\_COBYLA迭代算法, 综合仿真结果如下：最优参数为金属线宽15.13um, 线间距为3.31um, 内径为68.6um, 对应的目标参数**Ld=2.02nH, Qd=21.69, Max Size=241.0um**, 满足设计要求



Synthesis result

Width(um)	Spacing(um)	Num of Turns	Inner Radius(um)	opFreq	Ld Value(nH)	Qd	Max Size(um)	Score
15.13	3.31	3	68.6	2.5	2.01923	21.69289	241.0	-1.88905
15.13	3.31	3	68.47	2.5	2.01503	21.6096	240.0	-1.88617
15.06	3.32	3	68.54	2.5	2.01774	21.59311	240.0	-1.8814
15.0	3.28	3	68.4	2.5	2.01392	21.52956	239.0	-1.8806
15.03	3.32	3	69.31	2.5	2.04274	21.83458	242.0	-1.87992
14.99	3.34	3	69.06	2.5	2.03563	21.72057	241.0	-1.8761
15.06	3.33	3	68.56	2.5	2.0188	21.55479	240.0	-1.87555
14.92	3.41	3	69.21	2.5	2.04336	21.75703	241.0	-1.87294
15.14	3.32	3	68.64	2.5	2.02083	21.5604	241.0	-1.87088
15.14	3.32	3	68.69	2.5	2.02253	21.57094	241.0	-1.87051
15.2	3.32	3	68.62	2.5	2.01999	21.52983	241.0	-1.86791
15.02	3.33	3	67.43	2.5	1.98099	21.43738	238.0	-1.86733
15.03	3.33	3	68.39	2.5	2.01254	21.43274	240.0	-1.86656
15.19	3.33	3	67.53	2.5	1.98202	21.38955	239.0	-1.85905
15.02	3.35	3	69.07	2.5	2.03906	21.60642	241.0	-1.85841

## ■ 产品介绍

### 产品功能

eScalModel可用于指导具有物理参数表征的无源器件设计，输入一组不同参数组合的无源器件(如表征电感器件的W/S/N/R参数，W表示线宽，S表示线间距，N表示圈数，R表示半径)的频域模型(即S参数模型)，用物理电路模型(如2- $\pi$ 模型)进行模型参数提取和拟合，并最终输出这组参数(如W/S/N/R)控制的Spice/Spectre等效电路模型，用户可以通过该模型快速仿真出参数变化范围内的任意电路频域模型，从而提高无源器件SPICE模型或者射频电路设计效率

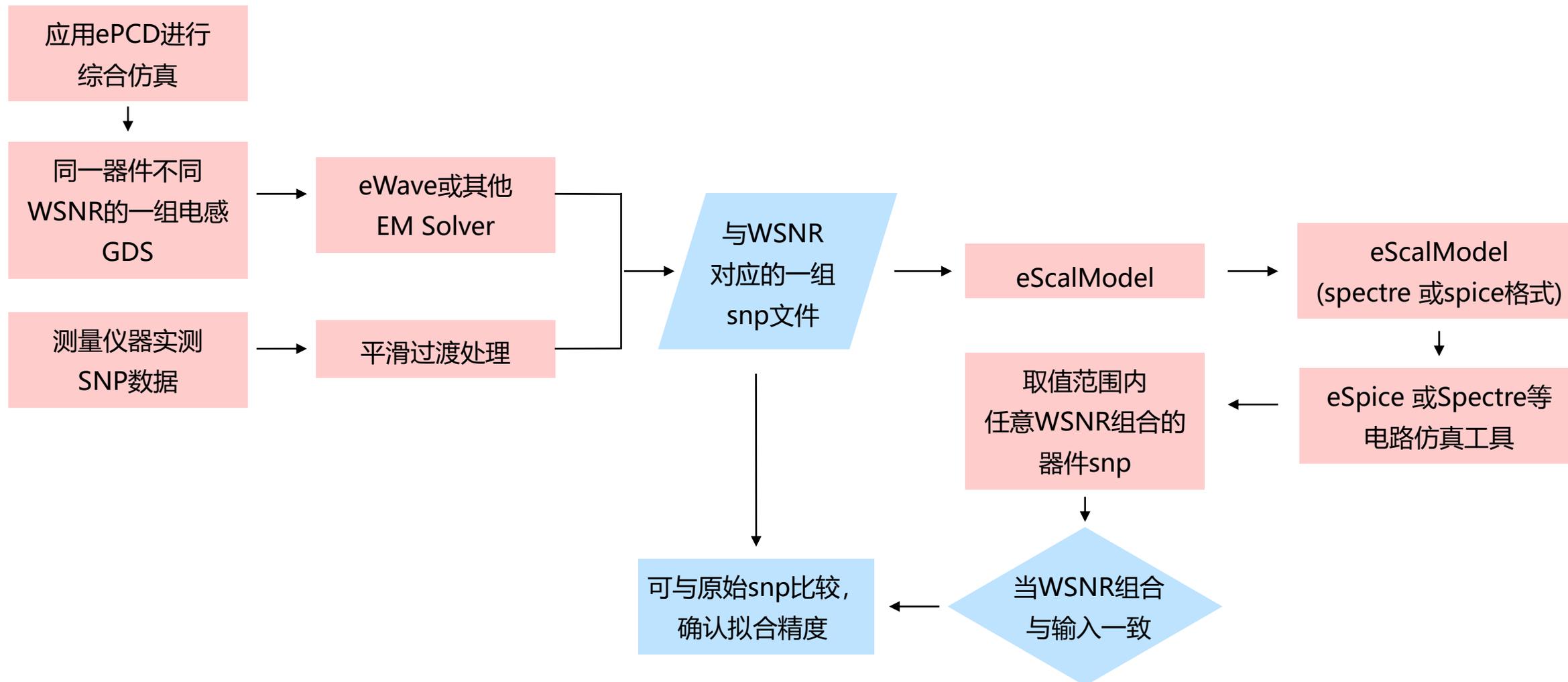
### 产品特点

- 直观易用的GUI，可直观查看建模拟合
- 支持多线程并行处理技术
- 支持Spice/Spectre两种格式结果输出
- 可查看性能指标曲线如L值/Q值
- 支持中断拟合过程后重新恢复进度
- 支持实时更新最优拟合模型的S参数文件

### 产品优势

- 对参数不设限，除常见WSNR外，温度等具有线性变化特征参数均可以参与建模
- 根据采样点进行多段拟合，最少可支持单个参数的2个SNP或者YNP文件，采用点越密集，拟合结果越准确
- 根据谐振点动态拟合区域，采用并行多线程技术，同时对多个SNP/YNP文件进行建模拟合

## ■ 应用流程与实例

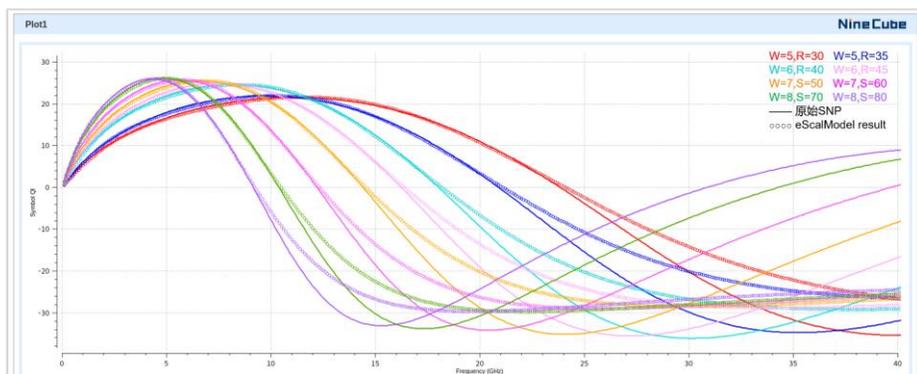
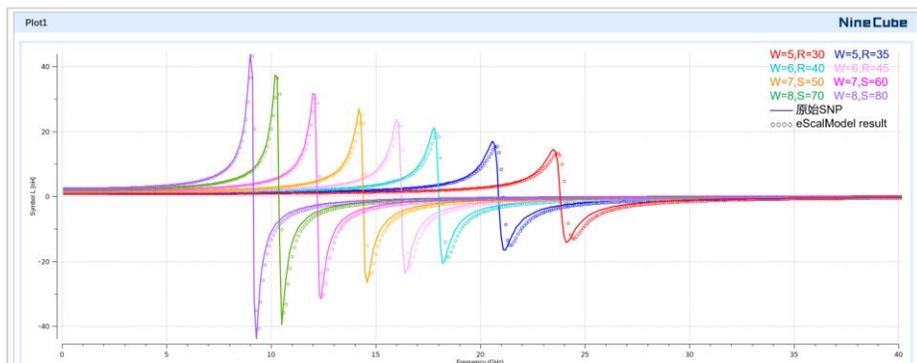


## 应用流程与实例: 电感案例

电感物理参数范围:

W: 3~18um; S: 2~4um; N: 1~8; R: 20~90um

eScalModel拟合结果与EM结果对比



- W(Width)做随机插值 (总案例数: 648) Pcell与仿真SNP结果对比

Pcell/仿真SNP结果误差值	Case数量通过率 (Ld)	Case数量通过率 (Qd)
<5%	99.23%	83.49%
<b>&lt;10%</b>	<b>100%</b>	<b>96.6%</b>
<15%	100%	99.85%
<20%	100%	99.85%

- S(Space)做随机插值 (总器件数: 648) Pcell与仿真SNP结果对比

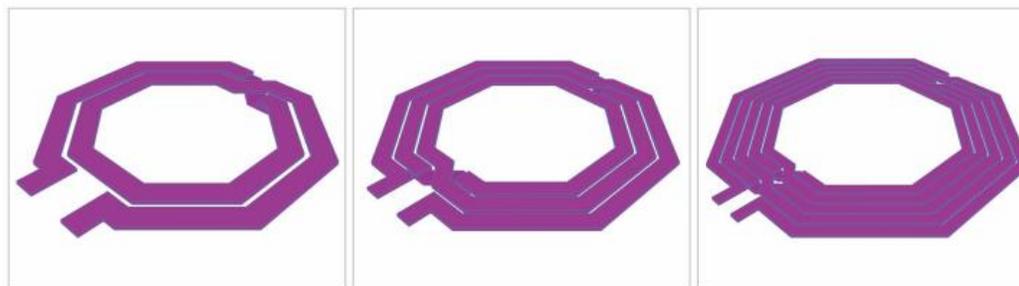
Pcell/仿真SNP结果误差值	Case数量通过率 (Ld)	Case数量通过率 (Qd)
<5%	99.38%	81.17%
<b>&lt;10%</b>	<b>100%</b>	<b>93.93%</b>
<15%	100%	98.15%
<20%	100%	98.61%

Pcell电感结果:

Case1: W=18um, S=5um, N=2, R=70um, 输出结果(2.5GHz): **L=0.88nH, Q=13.23**

Case2: W=15um, S=3um, N=3, R=80um, 输出结果(2.5GHz): **L=2.35nH, Q=11.67**

Case3: W=10um, S=2um, N=5, R=90um, 输出结果(2.5GHz): **L=9.93nH, Q=8.2**





# THANKS

九同方微电子有限公司 | NineCube Co.,Ltd

---

Please visit: <http://www.ic9cube.com>

Email: [zhouhaitao@ic9cube.com](mailto:zhouhaitao@ic9cube.com)

Mobile: +86 186 2108 0694

地址：湖北省武汉市未来科技城海外人才大楼B座4F-5F

上海市浦东新区盛夏路608号1号楼303-304室

深圳市福田区桃花路与槟榔道交汇处西北深九科技创业园2号楼7楼

