



# 半导体工艺和器件 仿真软件(TCAD) 简介

编辑: 盛阳 夏长生  
上海市中山北路 2790 号 906 室  
邮编: 200063  
电话: +86 21-51815367  
传真: +86 21-51815365  
邮箱: [info@crosslight.com.cn](mailto:info@crosslight.com.cn)  
网址: [www.crosslight.com.cn](http://www.crosslight.com.cn)

# 目录

<b>1 公司简介 .....</b>	<b>3</b>
<b>分支机构和客户 .....</b>	<b>3</b>
<b>荣誉 .....</b>	<b>3</b>
<b>产品线 .....</b>	<b>5</b>
<b>中国分公司 .....</b>	<b>5</b>
<b>2 各 TCAD 软件 .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 APSYS <i>Advanced Physical Models of Semiconductor Devices</i> .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 LASTIP <i>LASer Technology Integrated Program</i> .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 PICS3D <i>Photonic Integrated Circuit Simulator in 3D</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 CSUPREM <i>Crosslight-SUPREM</i> .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 PROCOM <i>PROcesses of COMpounds</i> .....</b>	<b>15</b>
<b>2.6 NovaTCAD .....</b>	<b>17</b>

# 1 公司简介

## 分支机构和客户

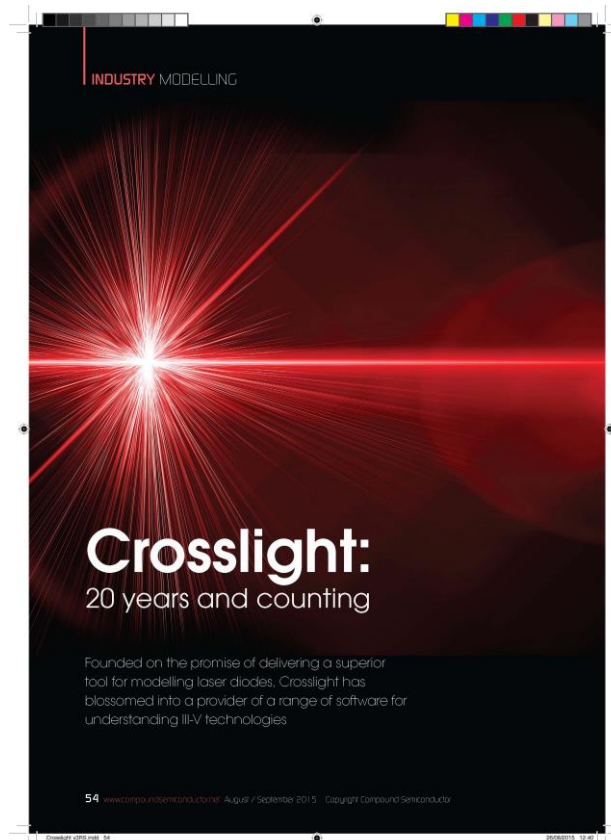
Crosslight 软件公司是半导体工艺模拟和器件模拟(TCAD)工具的行业领导者，由李湛明(Z.M. Simon)博士创立。李博士毕业于世界顶尖的加拿大 UBC 大学，随后在加拿大国家科学院工作，期间的工作成果在 1993 年转化为 Crosslight 公司的软件产品。目前公司总部位于美丽的加拿大国温哥华市。总部以外，Crosslight 公司在中国大陆（上海），中国台湾，日本设有分公司，在韩国和印度设有代理机构，同时也和美国欧洲等地多位科学家和研究机构有合作关系。作为 TCAD 仿真工具领域的顶级供应商，公司目前拥有遍布世界各地的几百家客户，其中包含 Intel，三星，华为等顶级跨国企业，为新型半导体产品的研究和开发贡献着一份力量。

## 荣誉

公司研发的 Pics3D 软件作为世界上第一个半导体激光器件和光子集成电路仿真的商业化产品，在 1998 年获得了《Laser Focus World》（光子和光电子工业权威杂志）颁发的商业技术成就奖。



2015 年，著名化合物半导体杂志《Compound Semiconductor》为 Crosslight 公司撰写了专栏文章，以表彰其提供的工业级仿真工具。专栏中说道：Crosslight 公司为业界提供了半导体激光器仿真的顶级优秀工具，并以此为基础扩展成为全面帮助人们理解 III-V 族化合物技术的高级工具。



## 产品线

在 20 多年的时间里，Crosslight 公司致力于提供半导体器件和工艺仿真的最先进工具。器件仿真方面，从基本的金属氧化物半导体场效应晶体(MOSFET)到复杂的半导体器件，如：垂直腔面发射激光器(VCSEL)和量子级联激光器(QCL)等，各种不同的半导体器件皆可经由 Crosslight 开发的三个器件仿真软件 (APSYS、LASTIP 以及 PICS3D)进行仿真和分析。工艺仿真方面，Crosslight 的 CSUPREM 软件改进了斯坦福大学集成电路实验室所研发的 SUPREM.IV GS 程序的软件，用作硅和砷化镓的工艺仿真，且提供完整的 3D 工艺模块。此外，Crosslight 研发的 PROCOM ( 2D/3D ) 软件让使用者观察半导体薄膜在金属有机物气相外延(MOCVD)下的成长。值得一提的是，Crosslight 的工艺仿真软件生成的结构可以无缝导入到器件仿真软件中。

## 中国分公司

Crosslight 在上海设立的分公司具有界面程序开发维护和核心程序技术支持的完善人员配置，为中国用户提供完整的售前售后服务，构建了客户软件使用和产品开发高效的沟通渠道，帮助中国用户借助 TCAD 工具快速实现新产品的的设计，开发和验证。

## 2 各 TCAD 软件

Crosslight 公司开发的 TCAD 软件完整覆盖了微电子和光电子半导体器件和工艺仿真。依据不同的应用领域和范围，具有如下划分：

### 器件仿真软件 semi-conductor device simulator

#### Apsys

电子器件及光电子器件  
激光器除外  
二维/三维

#### Lastip

边发射激光器件  
二维

#### Pics3d

边发射面发射激光器  
光放大器器件及光波导器件  
三维

### 微电子工艺仿真软件 full 3D process simulator

#### Csuprem

沉积，图形化刻蚀，离子注入，  
氧化，热扩散等工艺模拟  
结构建模  
二维/三维

### MOCVD化合物工艺仿真软件 MOCVD compound process simulator

#### Procom

基于精细的化学动力学、质量  
及热传导模型预测半导体薄膜  
成长率、组成、厚度一致性、  
杂质渗入率和缺陷分布  
二维/三维

其中红色字为软件名称。

### 2.1 APSYS *Advanced Physical Models of Semiconductor Devices*

先进的半导体器件物理模型仿真软件，此软件能够针对化合物（如 InP/GaAs/GaN 等）和非化合物（硅锗等材料）半导体器件的电、光和热特性作 2D/3D 有限元分析，能带结构及量子力学效应为模拟重点，涵括多种光学模

块也让这款仿真软件便于模拟感光或发光器件。

## 物理方程

Apsys 软件自治求解稳态或瞬态下的 2D/3D 基本物理电光热方程：

- 泊松方程（基本方程）
- 电流连续性方程（基本方程）
- 热载流子能量传输方程（hydrodynamic model）
- 量子力学波动方程（量子器件）
- 标量波动方程（光波导器件）
- 热流方程（热源及热流传播）

## 物理模型

Apsys 软件作为 Crosslight 公司的一款通用型仿真软件，包含了非常完善的先进物理模型：

- 热载流子流体动力学模型
- 量子隧穿和量子输运，包括高级的 miniband, Type II 能带等
- 热输运模型
- 热电子发射模型
- 碰撞离化模型
- 深能级陷阱其陷阱动力学
- 表面态和复合模型
- 子能带间跃迁模型
- Type I 和 II 能带排列模型
- 瞬态大信号仿真模型
- 高频交流小信号分析模型
- 依赖于掺杂浓度的载流子寿命模型
- Poole-Frenkel 绝缘体导电模型
- 有机物半导体模型
- 77K 低温仿真模型
- 多模式光波导模型
- 包含应力效应的量子阱 k.p 能带理论
- 量子阱自治计算模型
- 纤维锌矿(wurtzite)材料的极化和部分极化理论
- 具有电场依赖性的迁移率模型
- 具有温度依赖性的材料参数
- 灵活的材料参数定义方式

- 柱坐标计算系统
- 几何光学光线追踪计算
- 有限时域差分(FDTD)电磁波传播计算接口
- 光学涂层模型
- 器件-电路混合模式(mix-mode)仿真
- 跨尺度方程求解之间的自治整合

一直以来，Crosslight 公司秉承着一个传统，也就是物理模型会根据半导体器件的前沿发展趋势进行不断的更新和修正。

## 图形用户界面(GUI)

作为一个完善的 Windows 仿真平台，Apsys 软件提供了完整的建模，脚本编辑，结果查看，项目管理等图形用户界面：



**SimuApsys** 便捷完整的项目管理界面,APSYS 软件相关的集成管理和编辑界面。



**OLED Library** 有机半导体材料库编辑界面



**LayerBuilder(2D/3D)** 用于类似于激光器件的薄膜层状结构的搭建。



**GeoEditor(2D/3D)** 以三角形，任意四边形和弧形边缘为基础搭建较为复杂的几何结构。可以新建结构，也可以在 LayerBuilder 产生的.geo 文件基础上改动结构。



**CrosslightView(2D/3D)** 用于查看 Csuprem/APSYS/LASTIP/PICS3D /PROCOM 等工艺和器件仿真完整计算结果的易用便捷的工具，支持图形数据导出。

## 器件应用

得益于完善的物理模型和多年的客户积累，Apsys 软件能够仿真半导体激光



器之外的几乎所有门类半导体器件：

- 晶体硅/多晶硅/非晶硅 太阳能电池
- 多结太阳能电池
- 光探测器及雪崩二极管(APD)
- 量子点器件
- 量子线器件
- JFET, MOSFET 及 HBT 等电子器件
- FINFET 等量子 MOS 器件
- CCD 及 CMOS Image Sensor(CIS)
- 电吸收调制器(EAM)
- 功率器件
- GaN/GaAs HEMT
- 发光二极管(LED)
- 光子晶体二极管(PhCLED)
- 有机发光二极管(OLED)
- 共振腔发光二极管(RCLED)
- 共振隧穿二极管(RTD)
- 具有 Type-II 能带结构的半导体探测器

此外 ,Apsys 软件能够得心应手地处理器件之间的组合仿真以及器件结合外电路的仿真 , 为新类型器件和新结构器件的研究和验证带来了巨大的便捷性。

## 2.2 LASTIP *LA*Ser Technology Integrated Program

LASTIP 是基于有限元分析的半导体激光器仿真软件 , 是 Crosslight 推出的首项问世产品 , 主要用于边发射激光器的 2D 模拟 , 利用 TCAD 达到激光器学术界一直想达成 , 媲美业界的成熟仿真效果 , 包含不同光谱展宽的量子阱、量子线及量子点的光学增益模型、电子相互作用和 kp 非抛物线子能带均可进行模拟 , 亦可精准进行多侧模的交互作用模拟。

2015 下半年开始 , LASTIP 软件被并入 Pics3D 软件 , 作为一个边发射激

光器仿真的特殊版本，取名为 **Pics3D-FP Edition**。

## 物理方程

作为 2D 半导体激光器仿真软件，LASTIP 自治求解稳态或瞬态下的如下基

本方程：

- 泊松方程
- 电子流和空穴流连续性方程
- 复杂二维波方程
- 光子速率方程
- 热流方程

## 物理模型

LASTIP 软件中包含了广泛的应用于半导体激光器仿真的物理模型：

- 包含应力效应的量子阱 k.p 能带理论
- 量子阱自治计算模型
- 纤维锌矿(wurtzite)材料的极化和部分极化理论
- 非线性增益抑制模型
- 复合(recombination)模型(SRH,Auger 等)
- 量子隧穿和量子运输，包括高级的 miniband,Type II 能带等
- 热传输模型
- 价带混合效应(valence mixing effects)
- 成熟的增益展宽函数
- 深能级缺陷和缺陷动力学
- 表面态和表面效应
- Poole-Frenkel 绝缘体导电模型
- 载流子之间和载流子-光子散射
- 77K 低温仿真模型
- 光的多模式分析
- 具有电场依赖性的迁移率模型
- 完全耦合的牛顿方法
- 大量的材料模型
- 依赖于温度的材料参数模型
- 灵活的材料参数定义方式

LASTIP 软件中的物理模型会根据半导体器件的前沿发展趋势进行不断的更新和修正。

## 图形用户界面(GUI)

LASTIP 软件的各项图形用户界面和 APSYS 软件类似，操作也类似，不同之处在于 LASTIP 不具备 3D 结构的建模和仿真能力。



SimuLastip 便捷完整的项目管理界面, LASTIP 软件相关的集成管理和编辑界

面。

## 器件应用

由于是 2D 仿真软件，LASTIP 能够进行快速高效的仿真和分析，范围涉及如下：

- 各类 FP 腔激光器
- 双极级联激光器
- 激光器阵列
- 光的多模式分析
- 具有 Type I 或 Type II 能带的多量子阱结构激光器件
- 光泵浦激光器
- 泄露模式光波导(leaky waveguide)的完美匹配层(PML)分析
- 自发热效应分析
- 蓝光/绿光/紫外光 激光器
- 多体和激子效应
- 量子点激光器件

## 2.3 PICS3D Photonic Integrated Circuit Simulator in 3D

先进的 3D 光电集成电路仿真软件，是一款用于模拟面射及边射型激光二极管、半导体光放大器和其他类似的有源波导器件的最新 3D 仿真软件，2D 和 3D 半导体方程式(例如：漂移扩散、泊松方程.....等等)与各光学模型在侧向及纵向上配对，光学特性如：量子阱、量子线及量子点的光学增益和自射率均被最适

化计算。

PICS3D 软件是 LASTIP 软件在第三维方向上的延展，目的在于一方面能够帮助器件设计者优化现有的器件结构，另一方面也能对新的设计思想进行原型验证。PICS3D 软件的重要性在于，3D 方向上的扩展对很多特定的激光器件的仿真至关重要。

### 物理方程

PICS3D 软件求解的基本物理方程皆为 LASTIP 中物理方程的 3D 扩展

### 物理模型

PICS3D 软件包含的物理模型，除了 LASTIP 所具有的，还有一些自身的特殊模型：

- 诸多光模式纵向模型(longitudinal modeling)
- 完善的 VCSEL 理论模型
- 模式谱和调制响应

### 图形用户界面(GUI)

PICS3D 软件的各项图形用户界面和 APSYS 软件类似，操作也类似，不同之处在于 PICS3D 不具备 2D 结构的建模和仿真能力，仅能仿真 3D 结构。



SimuPics3D 便捷完整的项目管理界面,PICS3D 软件相关的集成管理和编辑

界面。

### 器件应用

PICS3D 软件被广泛运用于各类有源和无源波导半导体器件中，主要包含：

- 各类 DFB 和 DBR 半导体激光器
- 垂直腔表面发射激光器(VCSELs)
- 可调谐激光器
- 集成调制器
- 半导体光放大器(SOA)

- 超辐射发光而激光(Superluminescent diodes: SLED)
- 波导光探测器
- 光泵浦半导体激光器
- 外腔半导体激光器
- 环状半导体激光器
- 增益耦合光栅
- 高阶光栅
- 具有纵向空穴烧孔(hole burning)效应的高功率泵浦激光器

## 2.4 CSUPREM *Crosslight-SUPREM*

Crosslight-SUPREM 是一种改良斯坦福大学集成电路实验室所研发的 SUPREM.IV GS 程序用于微电子工艺仿真的软件，SUPREM.IV.GS (2D)超过十年以来一直是被业界公认的标准集成电路(IC)工艺模拟软件，Crosslight 将来自斯坦福大学的原始的程序加以改良，将软件从 2D 仿真延伸至 3D 仿真。

CSUPREM 软件中界面友好的 MaskEditor 程序帮助使用者便捷快速地构建 3D 工艺仿真，甚至能够导入工业标准的 GDSII 文件作为工艺仿真中的掩膜版，反之也能够将 MaskEditor 中的手绘掩膜版导出为 GDSII 文件。

作为一个亮点功能，CSUPREM 软件产生的最终器件结构能够无缝导入到 Crosslight 的其它器件仿真软件(APSYS/LASTIP/PICS3D)中，进行电学/热学/光学仿真。得益于 CSUPREM 的网格结构和掺杂分布来自于真实的半导体工艺仿真步骤，器件仿真的数据就能够更加接近真实的器件表现。

此外，CSUPREM 软件也是一个强大的建模工具，能够快速构建包含任意材料的各类复杂半导体器件结构，如 MEMS，量子线，多场板 IGBT，光子晶体，Lens 阵列，异型 LED 等。

### 计算模型和特性

CSUPREM 拓展并提升了 Stanford 原版 SUPREM IV.GS 中的模型：

- 2D, 准 3D, 混合 3D, 全 3D 工艺仿真模型
- 包含高斯, 皮尔森, SIMS 数据和蒙特卡洛等用户自定义的离子注入模型
- 各种刻蚀模型 (各向异性等)
- 共形沉积
- 基于点缺陷的扩散模型
- 损伤和团簇的瞬态增强扩散模型
- 氧化增强扩散模型
- 氧化延迟扩散模型
- 界面分凝模型
- 用于砷杂质激活的团簇模型
- 环状位错扩散模型
- 多晶硅, 氧化硅, 氮化硅内的扩散模型
- 外延层中和注入离子的扩散系数区别处理能力
- 所有掺杂激活模型
- 包含应力效应和体积膨胀的干氧和湿氧化模型
- 从中间运行状态重新开始计算的能力
- GPU 加速运算器
- 基于叠加与弯曲的高效网格面分配大量节省网格计算与运算时间
- 经 AutoCAD 与 Design of Experiments (DOE) 进行器件最佳化批次处理

## 图形界面

CSUPREM 软件提供了完整的项目管理,掩膜版设计制作和自由结构搭建等图形界面。



**SimuCsuprem** 便捷完整的项目管理界面,CSUPREM 软件相关的集成管理

和编辑界面。



**MaskEditor** 掩膜版制作工具, 包含新建模版, 导入 gds 模版, 自动生产

CSUPREM 项目等功能。



**SemiCrafter** 此工具借助 CSUPREM 的刻蚀功能, 产生堆叠的 3D 结构。

## 应用

- MOSFET
- LDMOS/环形跑道栅极
- 应力硅和锗硅器件
- BJT
- HBT
- 三维互联结构
- VDMOS
- HexFET
- IGBT
- ESD
- JFET
- MESFET
- FinFET
- MEMS
- 各类化合物半导体器件结构建模

## 2.5 PROCOM PROCesses of COMpounds

模拟 MOCVD 生长化合物半导体材料过程的一款仿真软件。在给定 MOCVD 反应腔结构、化学反应物种类和生长条件参数的情况下，PROCOM 可以预测半导体薄膜的生长速率、组成分布、厚度均匀性、杂质和缺陷分布等参数，提供难以观察和测量的生长过程数据，如反应腔内温度及各种化合物随生长时间的变化和分布情况等，这将有助于 MOCVD 薄膜生长者研发新的薄膜生长程序或优化现存的薄膜生长参数，也有利用 MOCVD 设备制造商进一步优化其反应腔结构。

### 物理化学方程

PROCOM 采用有限元分析方法解如下物理化学方程：

- 化学反应动力学方程

- 质量传输/守恒方程
- 流体动力学方程
- 热传输方程（能量守恒方程）
- 旋转衬底气体传输守恒方程

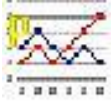
## PROCOM 特性

- 多层次仿真，理想状态 → 2D → 3D
- 无限制的反应腔结构及反应物种类数量，包括 Aastron, Emcore 和 Thomas Swan 等商业应用反应腔结构
- 暂态及稳态仿真（随时间变化的生长过程）
- 器件模拟接口，可将生长出的器件结构输出给器件模拟软件（APSYS、PICS3D 和 LASTIP）进行电学和光学特性仿真
- 丰富的化合物及化学反应数据库
- 多量子阱结构的生长
- 支持多种化合物半导体材料生长，包括 GaAs、AlGaIn、GaIn、InGaAsP、InGaIn, InGaP、InAs 和 InP 等
- 强大的数据输出，包括：
  - 各种化合物在反应腔内的质量、摩尔分数的分布
  - 各种化合物在反应腔内反应速率的分布
  - 流体在反应腔内速度大小及方向的分布
  - 反应腔内温度分布
  - 衬底上薄膜生成速率分布
  - 衬底上薄膜厚度及组成在不同位置和生长时间时的分布



➤ 杂质及缺陷在薄膜内的分布

## 图形用户界面 ( GUI )



PROCOM



GeoEditor

构建 2D 反应腔结构



GeoEditor3D

构建 3D 反应腔结构

PROCOM 软件的各项图形用户界面和 APSYS、LASTIP 及 PICS3D 软件类似，操作也类似，不同之处在于 PROCOM 要调用描述反应腔入口边界条件和反应腔内所有化学反应的两个数据文件。

## 2.6 NovaTCAD



一款基于 windows 操作系统研发、经济型且易于使用的仿真软件，主要用于 **微电子应用** 的仿真，本软件是结合了 Crosslight 的基本模拟工具，包括 MaskEditor、SimuCsuprem、SimuApsys、CrosslightView 和 Layerbuilder 2D/3D，提供用户全新的模拟体验。

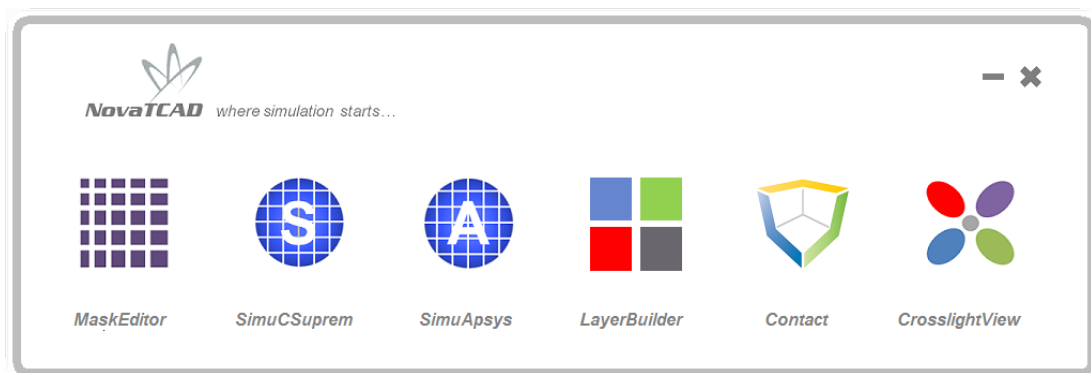
### 典型仿真步骤

- 1 借助 MaskEditor 工具导入 GDS 或者新制作掩膜版，并产生相应的 3D 工艺仿真脚本。
- 2 使用 SimuCsuprem 进行工艺仿真。
- 3 使用 Contact 工具定义工艺仿真导出的结构中的电极。

## 4 使用 SimuApsys 进行器件仿真和分析。

### 图形界面

NovaTCAD 提供了如下图所示的快捷界面，在此界面中可以方便的调用常用的几个软件和界面工具，便于用于快速地进行工艺仿真（或者工艺建模）和器件仿真的全部工作。



### 特性

- 2D 准 3D 混合式 3D 和全 3D 的工艺仿真
- 2D 和全 3D 的器件仿真
- 可靠且具有灵活性
- 大大减少网格的数量
- 从先前储存的状态重新开始
- 业界领先的数值收敛
- 大量材料模型
- 热载流子的流体力学模型
- 量子隧穿与传输
- 热离子发射模型
- 热传导方程式
- GPU 加速计算，依网格大小与结构组成，最快可达到比 CPU 型计算快三倍的模拟
- GPU 模拟可用于 CSUPREM(例如：3D 扩散)工艺仿真以及 APSYS 器件仿真
- 超合并：合并两个独立的工艺仿真以进行 3D 器件模拟，适用于复杂 3D 结构。如：金属互联仿真
- 弯曲网格平面：高效能网格，适用于极复杂的 3D 模拟，平面与弯曲的网格平面做独特的结合
- 提供实验性设计(DOE)的特性

### 器件适用领域

NovaTCAD 适用于 Csuprem 和 Apsys 软件两者所涵盖的所有器件应用领域。