

# BSIM4v4

行业标准MOSFET模型

## 针对亚0.13微米和射频高速CMOS设计的先进模型技术

在加州大学伯克利分校开发的名为BSIM3的3.2版本物理MOSFET器件模型如今被视为深亚微米CMOS电路设计的行业标准模型，它迅速被IC公司和厂商采用，用以模拟小至0.25微米的具有良好的精确度的器件。

对于器件缩小到0.10微米，一些物理机制的特性需要被更好地表征。这些机制包括，例如：

- 速度过冲
- 对弱反转电荷更好地建模
- LDD MOSFET的栅偏压相关源极和漏极串联电阻
- 对窄宽度效应的更为深入的物理探测
- MOSFET反转层的载波量化

基本上，开发BSIM4v4是为了明确解决下列问题，而BSIM3v3.2在这些方面相对存在不足和不够精确：

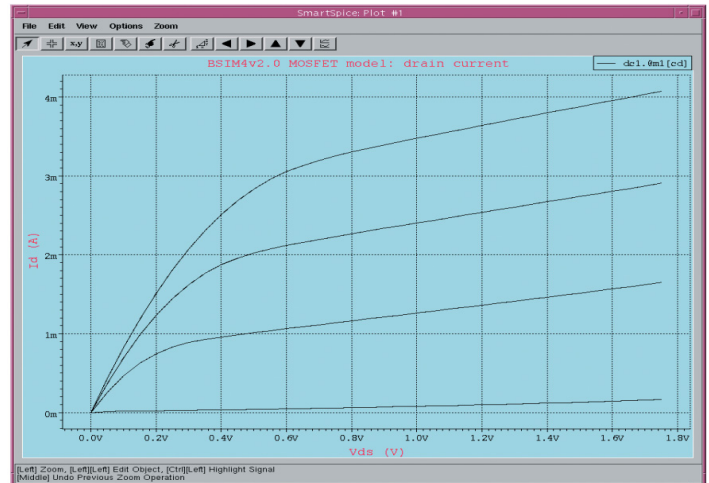
- 对亚0.13微米MOSFET器件精确建模
- 在射频、高频模拟和高速数字CMOS电路模拟中的精确度
- 模型功能（几何相关寄生参数模型）

作为一个公共领域的模型，BSIM4v4（如BSIM3v3一样）是一种沟通工具，简化了技术交流并提高了生产力。

## BSIM4v4在BSIM3v3基础上的根本改进

如同BSIM3v3，BSIM4v4可解释主要物理效应：

- 在阈值电压上的短窄通道效应
- 非均匀掺杂效应
- 由于垂直领域引起的迁移减少
- 容积电荷效应
- 载子速度饱和
- 漏极感应势垒降低
- 通道长度调制
- 源极/漏极寄生电阻
- 衬底电流感应基极效应
- 量子力学电荷厚度模型
- 统一闪烁噪声模型



主要DC特性

相对于BSIM3v3.2，BSIM4v4主要做了以下改进和新增功能

- 针对射频、高频模拟和高速数字应用的本征输入电阻精确模型
- 灵活的针对射频建模的衬底电阻网络
- 针对栅感应噪声的新的精确通道热噪声模型和噪声分区模型
- 非准静态（NQS）模型，与基于 $R_g$ 的射频模型和稳定的交流模型一致，可解释在跨导和电容中的NQS效应
- 精确的栅极直接隧穿模型
- 针对各种源极//漏极连接和多触点器件的综合性几何相关寄生模型
- 针对陡峭垂直逆向掺杂分布的改进模型
- 针对 $V_{th}$ 的袖珍模型、容积电荷效应和线路方程的改进模型
- 本征MOSFET模型的内部或外部不对称偏压相关源极/漏极电阻
- 可接受电气栅或物理栅
- 氧化厚度可按用户选择以物理精确模式作为模型输入值
- 同时针对IV和CV的量子力学电荷层厚度模型
- 针对预测性建模的更精准迁移模型
- 栅感应漏极泄漏（GIDL）电流模式，首次在BSIM中可用
- 改进的统一闪烁（1/f）噪声模型可平滑处理所有偏压区域，解释容积电荷效应
- 针对源极结和漏极结的不同二极管IV和CV特性
- 有/无电流限制的结二极管击穿
- 被定义为模型参数的栅极介电常数

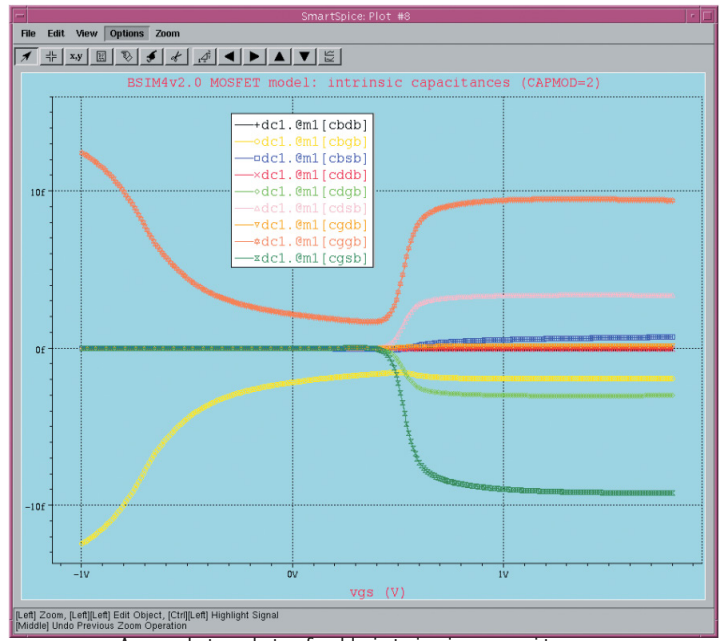
SILVACO

# 基于物理的高级模型方程概述

## 基本电流电压 (IV) 模型

包括:

- 一种针对袖珍/逆行技术的阈值电压模型
- 重新得出的 $V_{gsteff}$ 构造, 在温和反转区域可以获得更精确的 $g_m$ 、 $g_m/l_d$ 和 $g_m2/l_d$
- 带有新 $Abulk$ 构造的容积电荷模型, 具有强大的掺杂分布效应
- 三个迁移模型,  $MOBMOD=0$ 和 $1$  源自BSIM3v3.2, 新的 $MOBMOD=2$  模型具有更高精度的通用模型
- 一个新的输出电荷模型, 对长通道器件和袖珍器件尤为适用。
- BSIM4中的栅感应漏极泄漏 (GIDL) 电流模型
- 对应于BSIM3v3.2模型 (内部) 或新的非对称模型 (外部) 的两个偏压相关 $R_{ds}$ 模型, 为RF CMOS电路模拟提供更高的精确度
- 量子力学反转层厚度和高 $k$ 栅介质模型, 用于解释IV和CV
- 陷阱辅助隧穿和重组电流模型, 用于晕掺杂技术
- 针对工艺感应应力 (STI) 的可扩展应力效应模型。器件性能会随活跃区的几何结构和器件在活跃区的位置而改变。



A complete plot of all intrinsic capacitances.

## 射频高速模型

包括:

- 对电极栅 (偏压相关) 和本征输入 (偏压相关) 电阻建模模型的四个选项, 也可与多触点器件一同使用 (见图1)
- 两个不同的开关用以在瞬态分析和交流 (AC) 分析中打开和关闭电荷短缺非准静态 (NQS) 模型。交流NQS模型和瞬态NQS模型都是基于相同的基本物理学。
- 灵活的内置衬底垫组网络, 用于解释在基板衬底上的高频耦合。
- 栅电介质隧穿电流模型用于模拟通过栅极和衬底之间的电流以及通过栅极和通道区域之间的电流, 即在源极和漏极终端之间被分割的电流

## 电荷-电压 (CV) 模型

BSIM4提供了选择本征和重叠/边缘电容模型的三个选项方案, 所有模型均源自BSIM3v3.2。下表描绘了在BSIM4和BSIM3v3.2中的这些模型属性:

BSIM4中的CAPMOD模型	在BSIM3v3.2.2中的匹配本征CAPMOD模型	在BSIM3v3.2.2中的匹配重叠/边缘CAPMOD模型
0	0	0
1	2	2
2 (默认值)	3	2

## 寄生参数建模

- 综合全面的几何相关寄生参数模型提供了系列器件和多触点器件布局的建模能力
- 三个不对称源极/漏极结二极管IV模型: 两个源自BSIM3v3.2的无电阻、无击穿模型, 和一个新的带电组及击穿模型

## 噪声建模

- 闪烁噪声: 一个简化模型和一个统一物理模型, 均源自BSIM3v3.2, 并在统一构造基础上做了些许改进
- 热噪声: 一个长通道模型 (源自BSIM3v3.2) 和一个新的整体模型

## Silvaco功能实现

- BSIM4 MOSFET 模型是SmartLib独立产品模型库中的一款。它可以在SmartSpice或UTMOST中作为14级被使用, 之前由加州大学伯克利分校发行的0.0、1.0、2.0、2.1和3.0的旧版本同样受系统支持, 可利用模型参数VERSION来进行使用。
- 模型的执行过程与加州大学伯克利分校2004年3月4日发表的最新模型描述完全一致。
- 可通过VZERO选项和多线程能力来获得进一步提速
- 诊断选项EXPERT受BSIM4支持, 以帮助设计师发现收敛问题
- 三个可选STI模型: TSMC和伯克利 $\beta$ -版模型, 以及最新采用了STIMOD选择器的伯克利模型