

半导体器件物理

The Physics of Semiconductor Devices

西安电子科技大学 微电子学院

Microelectronics Institute,

Xidian University

二极管模型和模型参数

一、概述

(1) 电路中的有源器件用模型描述该器件的特性。

(2) 二极管模型实际上以等效电路的形式描述二极管端电流和端电压之间的关系。电路模拟过程中，实际上是以等效电路代替有源器件，然后建立回路方程、计算求解。不同的电路模拟软件中采用的模型不完全相同，模型参数的名称和个数也不尽相同。

(3) 电路模拟结果是否符合实际情况，主要取决于器件模型是否正确，特别是采用的模型参数是否真正代表实际器件的特性。

(4) 器件模型越精确，电路模拟效果越好，但是计算量也越大，因此应折衷考虑。这样，对同一种器件，往往提出几种模型。

(5) 学习中应该掌握模型参数的含义，特别应注意每个模型参数的作用特点，即在不同的电路特性分析中必需考虑考虑哪些模型参数。每个模型参数均有内定值。除了描述基本直流模型的几个参数外，其他模型参数如果采用内定值，相当于不考虑相应的效应。

(6) 如果采用模拟软件附带的模型参数库，当然不存在任何问题。如果采用模型参数库中未包括的器件，如何比较精确地确定该器件的模型参数将是影响电路模拟结果的关键问题。

二极管模型和模型参数

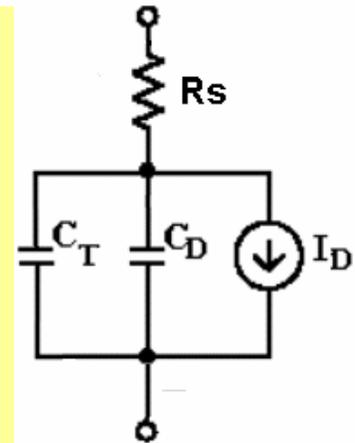
二、 二极管模型

(1) 基本关系式

若外加电压为： V_A

流过二极管的电流为：

$$I_D = I_S [\exp(qV_A/kt) - 1]$$



所以基本直流特性中只有饱和电流 I_S (Saturation current)1个参数。

考虑到一般情况下电流和电压的指数关系是 $\exp(qV_A/Nkt)$,则流过二极管的电流为：

$$I_D = I_S [\exp(qV_A/Nkt) - 1]$$

直流模型中还要包括一个模型参数：发射系数 N (Emission coefficient)。

(2) 串联电阻

考虑串联电阻，新增1个模型参数： R_S (Parasitic resistance)。

二极管模型和模型参数

二、 二极管模型

(3) 势垒电容

反偏情况下势垒电容的一般表达式为(V_A 小于等于 $FC \cdot VJ$) :

$$C_D = C_{j0}(1 - V_A/VJ)^{-M}$$

包括3个参数。

C_{j0} 是零偏势垒电容(Zero-bias p-n capacitance),与结面积以及工艺有关 ;

VJ 是势垒内建电势(p-n potential) , 与材料类型以及掺杂浓度有关 ;

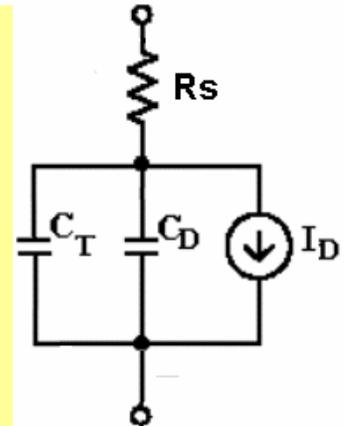
M 是与结两侧杂质分布情况有关的系数(p-n grading coefficient)。

在正偏条件下 , 势垒电容的表达式为(V_A 大于于 $FC \cdot VJ$) :

$$C_D = C_{j0}(1 - FC)^{-(1+M)}(1 - FC(1+M) + MV_A/VJ)$$

又新增一个模型参数.

FC 称为 势垒电容正偏系数 (Forward-bias depletion capacitance coefficient)。



二极管模型和模型参数

二、 二极管模型

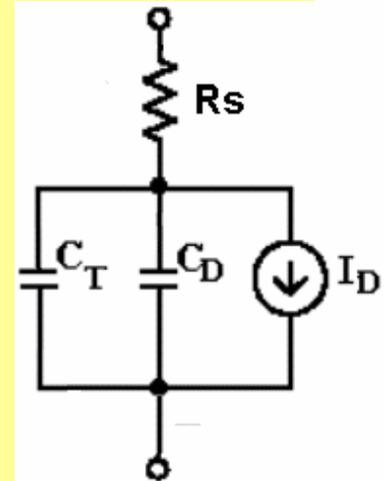
(4) 扩散电容

扩散电容为：

$$C_T = TT(dI_{fwd}/dV_A) = TT * G_d$$

新增一个模型参数.

TT称为渡越时间(Transit time)



二极管模型和模型参数

二、 二极管模型

(5) 大注入效应的表征

大电流下，由于大注入效应，使结电流随结电压的增加变慢，从 $\exp(qV_A/NkT)$ 关系逐步变为 $\exp(qV_A/2NkT)$ 。为此，只需将电流表达式作下述修正，等效电路无需变化：

$$I_D = IS[\exp(qV_A/NkT) - 1] / [1 + (IS/IKF)\exp(qV_A/2NkT)]$$

即考虑大注入效应，新增一个模型参数**IKF**，表征大电流下正向电流放大系数下降的膝点电流 (High-injection “knee” current)。其默认值为无穷大。

一般注入下，**IKF**远大于 $IS\exp(qV_A/NkT) - 1$ ，则

$$I_D = IS[\exp(qV_A/NkT) - 1]$$

极大注入下，**IKF**远小于 $IS\exp(qV_A/NkT) - 1$ ，则

$$I_D = IS[\exp(qV_A/2NkT) - 1]$$

二极管模型和模型参数

二、 二极管模型

(6) 小电流效应的表征

小电流下，流过二极管的电流中应增加空间电荷区的产生 - 复合电流项：

$$I_D(\text{复合}) = \mathbf{ISR}[\exp(qV_A/\mathbf{NRkT}) - 1]$$

新增2个模型参数：

ISR(复合电流：Recombination current parameter);

NR(复合电流发射系数：Emission coefficient for ISR)。

二极管模型和模型参数

二、 二极管模型

(7) 考虑击穿特性的反向电流

当反向电压达到击穿电压时，流过二极管的反向电流除了由基本电流方程决定的反向电流外，还要增加由击穿机理决定的电流项：

$$I_{DBV} = IBV [\exp(-q(V_A + BV)/NBVkt) - 1]$$

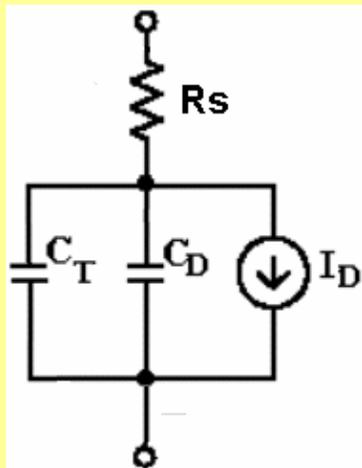
又增加两项模型参数。

一项是描述反向击穿的“膝点电压” **BV** (Reverse breakdown “knee”voltage)；

另一项是描述反向击穿的“膝点电流” **IBV** (Reverse breakdown “knee”current)。

二极管模型和模型参数

基本的二极管模型参数



模型参数	含义	单位	默认值
IS	饱和电流 I_s	A	1.0E-14
N	发射系数	—	1
RS	体串联电阻 R_s	ohm	0
CJ0	零偏势全电容 C_{T0}	F	0
M	电容梯度因子	—	0.5
VJ	接触电势 V_D	V	1
TT	渡越时间 τ	—	0
BV	反向击穿电压	V	∞
IBV	对应于击穿电压的电流	A	1.0E-3

二极管模型和模型参数

二、 二极管模型

(8) 其他效应的考虑

在PSpice模拟软件采用的二极管模型中，还同时考虑许多其他问题，例如，噪声模型；

模型参数随温度的变化(包括：

饱和电流 I_S 、

复合电流 I_{SR} 、

串联电阻 R_S 、

势垒内建电势 V_J 、

零偏结电容 C_{J0} 、

大注入“膝点电流” I_{KF} 、

击穿电压 BV 等参数)；

等等。

使二极管模型参数总数达到29个。