



# LED 的 SPICE 模型

## 目录

- 1. 前言 ..... 2
- 2. 关于 SPICE..... 2
- 3. 日亚提供的 SPICE 模型..... 2
- 4. 模型的参数 ..... 4
- 5. 使用中的注意点 ..... 8
- 6. 最后 ..... 8

日本日亚化学工业株式会社

<http://www.nichia.co.jp>

491 Oka, Kaminaka-Cho, Anan-Shi, TOKUSHIMA 774-8601, JAPAN

Phone: +81-884-22-2311 Fax: +81-884-21-0148

## 1. 前言

近年电子产品的控制系统越来越复杂，为了满足其要求电子电路也越来越复杂，规模越来越大。同时对产品开发时间和产品成本的要求也越来越严格，因此产品设计中的电子电路仿真模拟也就变得更为重要。为了满足以上需求，日亚化学工业株式会社（以下简称为“日亚”）的产品也有提供仿真模拟器之一的 SPICE 模拟器所需的 LED 模型。

在本应用指南中将对于用于 SPICE 模拟器的日亚 LED 模型（以下简称为“日亚 LED 的 SPICE 模型”）进行解说，并对使用时的注意点进行说明。

## 2. 关于 SPICE

SPICE 是“Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis”的简称，是在电脑上对电子电路进行分析的仿真模拟器。SPICE 除和传统在文本或图形用户界面 (GUI) 中输入电路一样可以进行通常的 DC 分析以外，还可以进行 AC (渡越) 分析、噪声等多种分析。

SPICE 最早是由美国加州大学伯克利分校（以下简称为“UCB”）开发，因为源代码被免费提供，所以很多企业在此基础上开发了各自的模拟器，使 SPICE 成为多种电路模拟器中最为普及的一种。

## 3. 日亚提供的 SPICE 模型

### 3.1. 日亚 LED 的 SPICE 模型的适用范围

日亚可以向顾客提供如图 1 的二极管模型的 LED 模型。此模型中的参数值可以再现 LED 规格书中的以下 2 种特性。

- 1) 正向特性： 结点温度 25°C 下的“正向电压-正向电流”特性（如下页图 2）
- 2) 温度特性： 额定电流值下的“结点温度-正向电压”特性（如下页图 3）

关于其他的电容、反向、AC (渡越) 特性等，日亚 LED 的 SPICE 模型不能对应。

```

*****
*Document No.:SE-KSExxxxxx
*Date          :10/15/2021
*Part Number  :xxxxxxx
*Spec Ref.    :SE-KSExxxxxx
*All Rights Reserved Copyright (c) Nichia Corporation 2021
*****

.model xxxxxxx D
+ IS=2.5939E-13
+ N=4.0113
+ RS=0.24229
+ IKF=0
+ EG=3
+ XTI=25
*$
    
```

图 1. 日亚提供的 LED 模型例

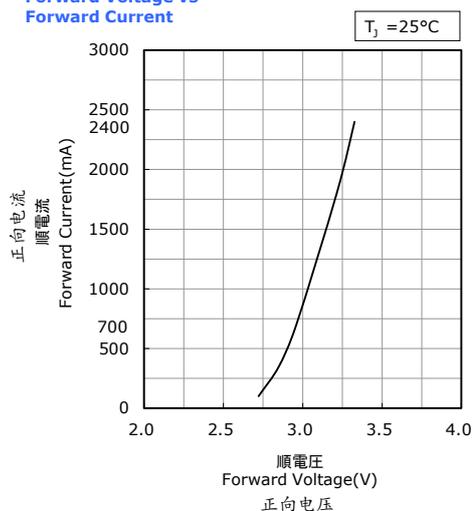
順電圧-順電流特性  
 Forward Voltage vs  
 Forward Current


图 2. 正向特性例※1

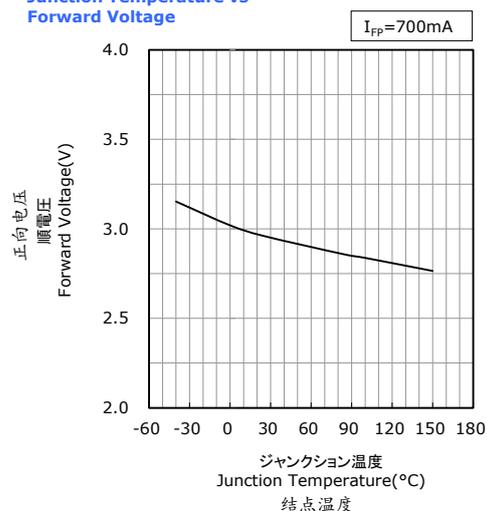
 ジャンクション温度-順電圧特性  
 Junction Temperature vs  
 Forward Voltage


图 3. 温度特性例※1

### 3.2. 模型参数值的确认

日亚是使用 SPICE 模拟器中一种的 OrCAD PSPICE※2 对日亚 LED 的 SPICE 模型的参数值的再现情况进行确认。如果客户使用了 PSPICE 以外的模拟器，只要基础是 UCB 开发的 SPICE，都可以使用日亚 LED 的 SPICE 模型，但是应该注意可能因为各模拟器的条件等不同，模拟结果出现差异。

※1. 是参考用的型号 NVSW219F 规格书中记载的特性图。

※2. OrCAD 和 PSPICE 是美国楷登电子公司的商标。另外日亚使用的是 Ver.9 以上的 OrCAD。

## 4. 模型的参数

常见的二极管模型参数如表 1 所示。日亚 LED 的 SPICE 模型只提供正向(DC)及温度特性的 6 种参数 IS、N、RS、IKF、EG、XTI，所以在模型文件中没有记载其他参数值。

本章中将对各参数的含义及日亚决定 LED 模型时对各参数的调整方法进行说明。

表 1. 常见的二极管模型参数

特性	参数	含义	日亚模型
正向 (DC)	IS	反向饱和电流	适用
	N	发射系数	适用
	RS	串联电阻	适用
	IKF	大注入膝点电流	适用
温度	EG	禁带宽度	适用
	XTI	饱和电流温度系数	适用
电容	CJO	零偏压 PN 结电容	不适用
	M	PN 结梯度系数	不适用
	VJ	PN 结自建电势	不适用
反向 (DC)	ISR	复合电流	不适用
	NR	ISR 的发射系数	不适用
	BV	反向击穿电压	不适用
	IBV	反向击穿电流	不适用
反向 (AC)	TT	渡越时间	不适用

### 4.1. 正向(DC)特性参数

为了再现二极管正向上的电压-电流特性，可以使用参数 IS、N、RS、IKF。这些都是二极管常见的电学特性，为了尽量准确地再现出 LED 的正向特性，日亚对以上参数值进行了调整。

#### 4.1.1. IS: 反向饱和电流

IS 代表反向（负向）上的饱和电流。通常情况下的二极管模型如图 4 所示，IS 越大反向上电流也就越大，同时也会使正向上的启动电压（开始流入电流的电压值）发生变化，IS 越大启动电压值越小，也就是说可以在更小的电压值下电流开始流入。LED 也相同，IS 越大启动电压值越小，所以如图 5 所示，可以通过 IS 对 LED 的正向上的启动电压值进行调整。

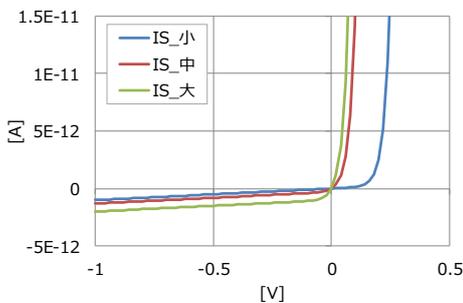


图 4. 二极管的特性例

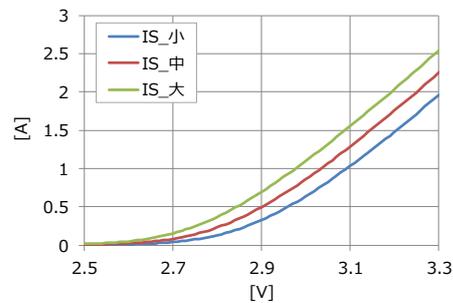


图 5. LED 的特性例

#### 4.1.2. N: 发射系数

N 代表注入的电流载体的再结合程度。通常的二极管模型都是取 1~2 间的数值，数值越接近 1 越能呈现出含再结合成分少的理想的二极管特性。如图 6 所示，N 越大正向电压越大。因此 LED 也可以使用 N 对正向电压进行调整（如图 7 参照），但是因为 LED 的正向电压比普通二极管大，所以可能对大于 2 的数值进行调整。

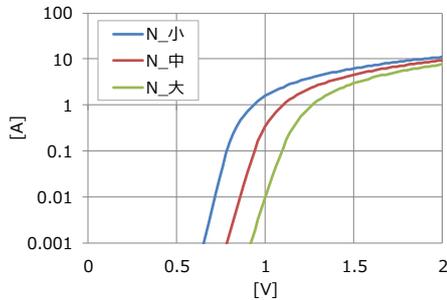


图 6. 二极管的特性例

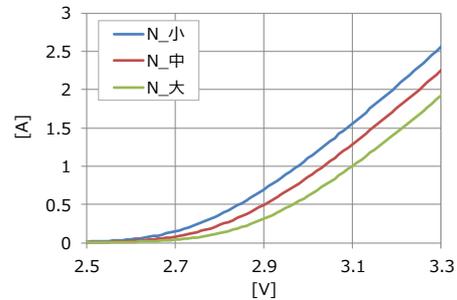


图 7. LED 的特性例

#### 4.1.3. RS: 串联电阻

RS 代表和二极管（LED）串联的电阻成分。通常 LED 是指键合线等导电连接部材的电阻成分。如图 8 和 9 所示，电阻成分的 RS 越大，电流越不容易流动，所以对高电流区域的倾斜度进行调整。

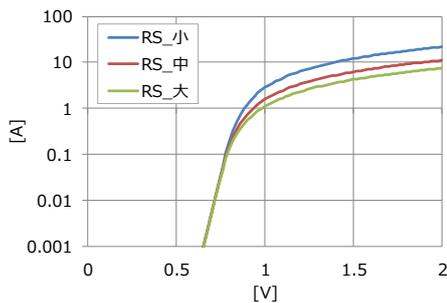


图 8. 二极管的特性例

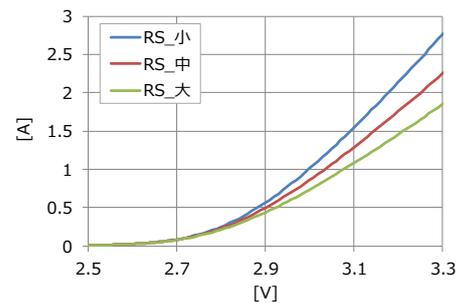


图 9. LED 的特性例

#### 4.1.4. IKF: 大注入膝点电流

IKF 代表大注入时的膝点电流。在 UCB 最初开发的模拟器中二极管模型不含有此参数，但是在 PSPICE 等有代表性的 SPICE 模拟器中有使用。在需要改变正向特性中途的倾斜转折点时可以使用。并且如图 10 和 11 所示，此数值越大倾斜转折点越靠近高电流区域。

另外 IKF 的值越大倾斜转折点就越靠近高电流区域，所以在 LED 实际使用的条件范围（电流、电压值）内特性曲线可能越来越接近 IKF=0 时的特性。

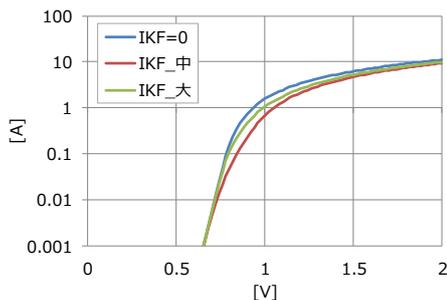


图 10. 二极管的特性例

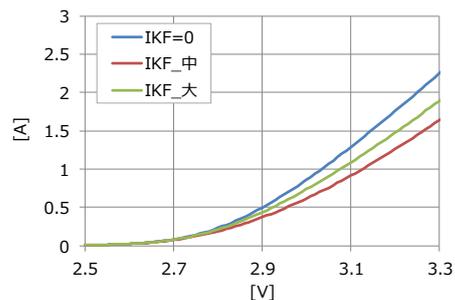


图 11. LED 的特性例

## 4.2. 温度特性参数

为了再现“结点温度-正向电压”的特性，需要使用参数 **EG**、**XTI**。但是这些参数是设想 LED 使用在结点温度大于 25°C 时的条件下设定的，所以如果 LED 的结点温度小于 25°C，模拟结果会与实际差异较大。

### 4.2.1. EG: 禁带宽度

**EG** 代表半导体的能带结构中的能隙（禁带宽度）。通常由构成半导体的材质决定为固定值（例如 Si=1.11eV 等）。但是为了能更准确的再现出 LED 的正向特性，日亚对此参数进行了调整。

### 4.2.2. XTI: 饱和电流温度系数

**XTI** 代表 **IS** 的温度系数。可以对结点温度导致的 **IS** 变化量进行调整。如图 12 所示，**XTI** 越大温度特性的倾斜越小（右侧下倾）。日亚的 SPICE 模型是以 25°C 为基准温度设定，所以是 LED 的特性曲线也是以 25°C 为基点。另外基点的电压值是由 **IS**、**N**、**RS**、**IKF** 决定。

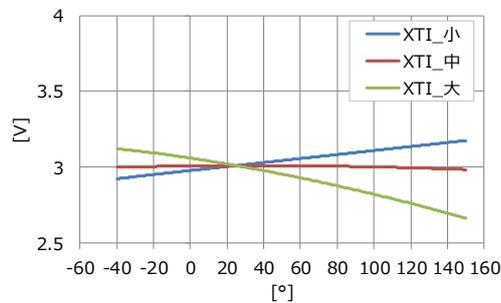


图 12. LED 的特性例

## 4.3. 电容特性参数

二极管(LED)具有电容效应。但是和通常的电容不同，其电容量会随电压值发生变化。如果清楚参数 **CJO**、**M**、**VJ** 可以对随电压值变化的电容量进行确认。

### 4.3.1. CJO: 零偏压 PN 结电容

**CJO** 代表零偏压（无电压、无电流状态）时的 PN 结的电容量。

### 4.3.2. M: PN 结梯度系数

**M** 代表 PN 结的梯度系数。空乏层内的掺杂浓度呈阶梯状变化的 PN 结被称为阶变 PN 结，逐渐变化时被称为缓变 PN 结。调整此系数可以让电压 vs. 电容特性的倾斜发生变化，通常是在阶变 PN 结 ( $M=1/2$ ) 和缓变 PN 结 ( $M=1/3$ ) 的系数间进行调整。

### 4.3.3. VJ: PN 结自建电势

**VJ** 代表 PN 结自建电势。自建电势是指没有电压施加时的空乏层的电压差。数值通常是由半导体的材质决定。

#### 4.4. 反向 (DC) 特性参数

反向上的 DC 特性包括为了再现漏电、击穿 (反向被施加高电压时, 到一定电压值时突然开始流入反向电流的现象) 的参数 **ISR**、**NR**、**BV**、**IBV**。

另外 LED 中内置有保护器件 (齐纳二极管等) 时, 因为 LED 在反向上的特性由保护器件的正向特性决定, 所以有无内置保护器件的 LED 在特性上有很大的差异。(如图 13 所示)

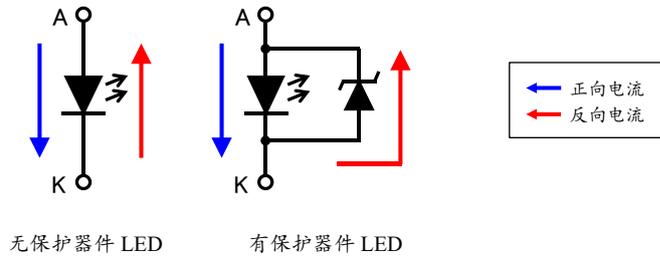


图 13. LED 的反向特性

##### 4.4.1. **ISR**: 复合电流

**ISR** 代表复合电流。虽然此参数可以调整反向上的漏电值 (电流), 但是因为也会影响正向上低电流区域的特性, 所以需要和 **IS** 一起调整。

##### 4.4.2. **NR**: **ISR** 的发射系数

**NR** 是调整 **ISR** 的影响度时使用的系数。

##### 4.4.3. **BV**: 反向击穿电压

**BV** 代表引起击穿时的电压值。但是安装有保护器件的 LED 的反向上特性由保护器件的正向特性决定, 所以 LED 的反向上击穿和通常现象不同, 电流在低电压时开始流入。

##### 4.4.4. **IBV**: 反向击穿电流

**IBV** 代表反向击穿电压 (**BV**) 时流入的反向电流值。

#### 4.5. 反向 (AC) 特性参数

可以再现反向上的 AC (交流) 特性的参数为 **TT**。和反向 (DC) 特性相同也会受到保护器件的影响。

##### 4.5.1. **TT**: 反向恢复特性 (渡越时间)

**TT** 代表反向恢复特性 (渡越时间)。在将正向偏置转换为反向偏置时, 存储的电流载体不断向反向移动 (扩散), 使电流也向反向流动, 之后会因为电流载体的浓度减少, 电流停止流动 (如图 14 所示)。**TT** 就是代表从切换开始为反向偏置到反向电流停止流动为止的时间。此时间越短表示二极管的响应特性越好。

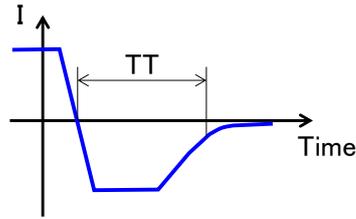


图 14. 反向恢复特性曲线

## 5. 使用中的注意点

- 日亚 LED 的 SPICE 模型并不对该 LED 的特性进行保证，也不能完全再现出该 LED 的特性，可能和实际有差异。因此使用日亚 LED 的 SPICE 模型得出的模拟结果只能作为参考，客户应该在实际的模组/产品状态下、实际使用条件下进行评价。
- 日亚 LED 的 SPICE 模型只能再现 LED 的正向特性（正向电压-正向电流）和温度特性（结点温度-正向电压），不能再现其他的电容、反向及渡越等特性。
- 日亚 LED 的 SPICE 模型是该型号 LED 的代表值，并没有考虑到 LED 间的个体偏差及特性分档。
- 日亚是在设想 LED 使用在 25°C 以上的环境下制作的 SPICE 模型，所以低温条件下的模拟结果可能和实际差异较大。
- LED 的结点温度会随灯具的散热状态和驱动条件等发生变化。关于取得结点温度的方法请参照该产品的规格书和相关应用指南中的内容。
- 低电流区域的模拟结果可能和实际差异较大。因此最好在模拟时让驱动电流值  $\geq$  额定电流值的 10%。
- 虽然 SPICE 模型的部分参数受材料、构造决定，但是日亚为了更准确地再现出 LED 的特性对参数值进行了调整，所以日亚 LED 的 SPICE 模型中的参数值可能和通常的理论值不同。
- 日亚只使用 OrCAD PSPICE 对提供的 SPICE 模型的参数值进行了确认，并没有使用其他模拟器进行确认。
- 日亚 LED 的 SPICE 模型只是数据文件，不包括符号文件。请自行准备相应的符号文件。
- 日亚 LED 的 SPICE 模型是以文本文件的形式(.txt)提供。在使用时请将其转换为相应的形式，或事先将其输入在准备好的数据文件中。
- 日亚 LED 的 SPICE 模型中“\*”星号开始的行是日亚公司内部的管理内容，并不是模型参数。

## 6. 最后

SPICE 模拟器不可能完全真实地对电子电路进行模拟，所以模拟结果会和实际存在差异。另外加上器件间的个体差异、测量误差等多种因素的影响更会使差异与实际更大。

因此 SPICE 的模拟结果仅用于参考，客户应该在实际的模组/产品状态下、实际使用条件下对产品是否达到了设计时预想的性能进行确认。

## 免责声明

本应用指南由日亚提供，是日亚制作及管理的技术参考资料。

在使用本应用指南时，应注意以下几点。

- 本应用指南中的内容仅供参考，日亚并不对其做任何保证。
- 本应用指南中记载的信息只是例举了产品的代表性能和应用例，并不代表日亚对日亚及第三者的知识产权及其他权利进行保证，也不代表同意对知识产权授权。
- 关于本应用指南内容，虽然日亚有注意保证其正确性，但是日亚仍然不能对其完整性，正确性和有用性进行保证。
- 因本应用指南的利用、使用及下载等所受的损失，日亚不负任何责任。
- 本应用指南的内容可能被日亚修改，并且可能在变更前、后都不予通告。
- 本应用指南的信息的著作权及其他权利归日亚或许可日亚使用的权利人所有。未经日亚事先书面同意，禁止擅自转载、复制本应用指南的部分或所有内容等（包括更改本应用指南内容进行转载、复制等）。