



LED の SPICE モデルについて

Light Emitting Diode

目次

1. 概要	2
2. SPICE とは.....	2
3. 弊社提供 LED モデル.....	2
4. モデルパラメータについて.....	4
5. LED モデル使用上の注意点.....	9
6. まとめ.....	9

1. 概要

電子機器は年々制御が複雑化しており、内蔵される制御回路も大規模かつ複雑なものになっています。その反面、開発現場では開発期間の短縮やコストダウンが求められており開発現場における回路シミュレーションの重要性は日々高まってきています。このような回路シミュレーションの需要にこたえるため、弊社では回路シミュレータの一種である SPICE に対応した LED モデルを提供しています。

本書では弊社が提供する SPICE モデルの説明および使用上の注意点を示します。

2. SPICE とは

SPICE とは“Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis”の略で、電気回路の動作をコンピュータ上でシミュレーションする回路シミュレータのことを指します。テキストコマンド、または GUI(Graphical User Interface)による回路入力により一般的な DC 解析のほか AC(過渡)解析、ノイズ解析など様々な回路動作をシミュレーションすることが可能です。

元は米国カリフォルニア・バークレイ校(以下 UCB)で開発されたものですがソースコードが無料で公開されているため、多くの企業がこれをもとに独自に改良したシミュレータを開発、販売しています。よって SPICE は数ある回路シミュレータの中でも最も普及している回路シミュレータであると言えます。

3. 弊社提供 LED モデル

3.1. 弊社 LED モデルの適応範囲

弊社では図 1 のようなダイオードモデル形式の LED モデルを提供しています。弊社 LED モデルでは製品仕様書に記載されている代表特性のうち、以下の 2 特性を再現することが可能です。

- ①順方向特性: ジャンクション温度 25°Cにおける順電圧-順電流特性(次頁 図 2 参照)
- ②温度特性: 製品定格電流値におけるジャンクション温度-順電圧特性(次頁 図 3 参照)

その他の容量特性や逆方向特性、AC(過渡)特性などに関しては弊社 LED モデルでは対応していません。これらの非対応特性のシミュレーションが必要な場合は弊社営業担当までお問合せください。

```

*****
*Document No. :SE-KSExxxxx
*Date       :10/14/2020
*Part Number :xxxxxxx
*Spec Ref.   :SE-KSExxxxx
*All Rights Reserved Copyright (c) Nichia Corporation 2020
*****
.model xxxxxxx D
+ IS=2.5939E-13
+ N=4.0113
+ RS=0.24229
+ IKF=0
+ EG=3
+ XTI=25
*$$
    
```

図 1. 弊社提供 LED モデル例

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

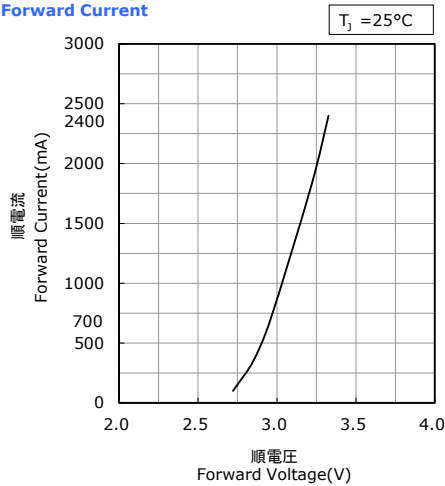


図 2. 順方向特性例^{※1}

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

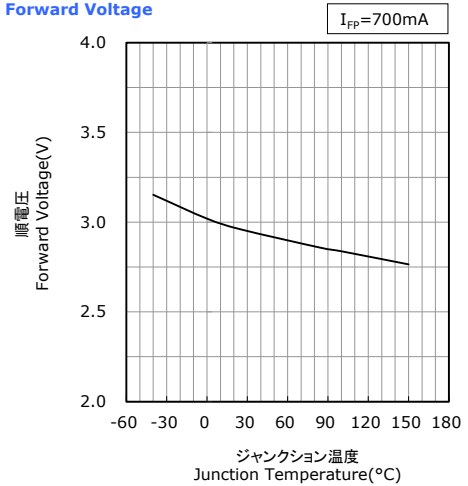


図 3. 温度特性例^{※1}

3.2. 動作確認

弊社では OrCAD PSPICE^{※2}にて LED モデルの動作確認を行っています。PSPICE 以外のツールにおいても UCB SPICE をベースとしたものであればパラメータを共用できる場合がありますが、条件によってシミュレーション結果が異なる場合があるためご注意ください。

弊社モデルで対応していないパラメータに関しては PSPICE の初期値にて動作確認を行っています。(第 4 章参照) 動作確認では順電圧-順電流特性およびジャンクション温度-順電圧特性の再現性ののみを確認しています。

※1. 例として型番 NVSW219F の製品仕様書に記載されている代表特性を示します。

※2. OrCAD 及び PSPICE は米国ケイデンス・デザイン・システムズ社の商標です。弊社では Ver.9 以上の OrCAD で動作確認を行っています。

4. モデルパラメータについて

一般的なダイオードモデルで使用されるパラメータの一覧を表 1 に示します。弊社モデルでは IS、N、RS、IKF、EG、XTI という順方向(DC)特性および温度特性に対応する 6 パラメータに対応しています。それ以外のパラメータは非対応としモデルファイルには記載されていませんのでご了承ください。本章では各パラメータの意味および弊社における調整方法を説明します。

表 1. 一般的なダイオードモデルパラメータ

特性	パラメータ	意味	初期値 ^{※3}	弊社モデル
順方向 (DC)	IS	逆方向飽和電流	-	対応
	N	放射係数	-	対応
	RS	直列抵抗	-	対応
	IKF	高注入折れ曲がり電流	-	対応
温度	EG	エネルギーギャップ	-	対応
	XTI	IS の温度係数	-	対応
容量	CJO	ゼロバイアス接合容量	1e-012	非対応
	M	接合傾斜係数	0.3333	非対応
	VJ	拡散電位	0.75	非対応
逆方向 (DC)	ISR	再結合電流	1e-010	非対応
	NR	ISR の拡散効果	2	非対応
	BV	逆方向降伏電圧	100	非対応
	IBV	逆方向降伏電流	0.0001	非対応
逆方向 (AC)	TT	逆方向回復特性	5e-009	非対応

4.1. 順方向(DC)特性パラメータ

順方向における電圧-電流特性を再現するために IS、N、RS、IKF が使用されます。いずれも一般的なダイオードの電気特性を示すパラメータですが、弊社モデルでは順方向特性の再現精度を優先してパラメータの値を決定しています。

4.1.1. IS: 逆方向飽和電流

IS は逆方向(負電圧)側に流れる飽和電流を意味します。一般的なダイオードモデルの場合、図 4 のように IS が大きいほど逆方向に流れる電流が大きくなります。またそれに伴い順方向の立ち上がり(電流が流れ始める電圧)にも影響を与え IS が大きいほど低い電圧で立ち上がるようになります。LED の動作領域においても同様に IS が大きいほど低い電圧で立ち上がるため、図 5 のように順方向特性の立ち上がりを調整することができます。

※3. 動作確認時の値であり、各パラメータが対応する製品特性を再現するための値ではありません。

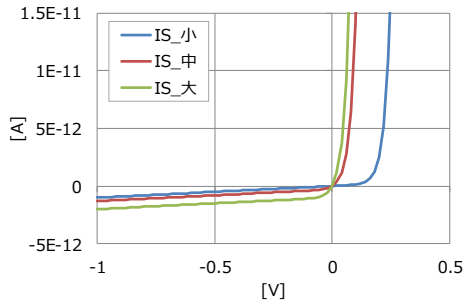


図 4. ダイオードの特性例

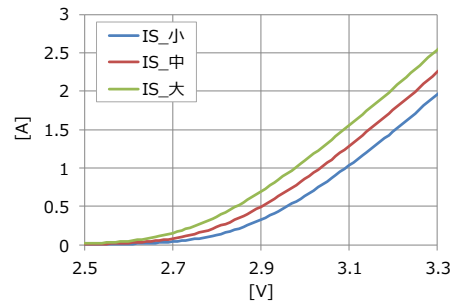


図 5. LED の特性例

4.1.2. N: 放射係数

N は注入したキャリアの再結合の度合いを意味します。一般的なダイオードモデルでは 1~2 の間の値を取り、1 に近いほど再結合成分を含まない理想的なダイオードの特性を示します。N が大きいほど図 6 のように順電圧は高くなります。LED においても同様に順電圧を調整することができますが(図 7 参照)、一般的なダイオードよりも順電圧が高い LED では 2 よりも大きい値で調整する場合があります。

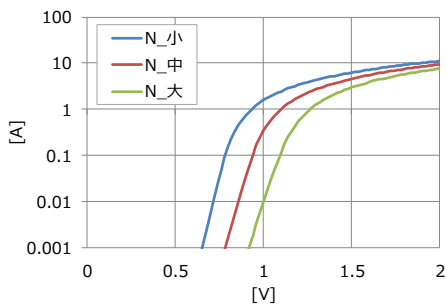


図 6. ダイオードの特性例

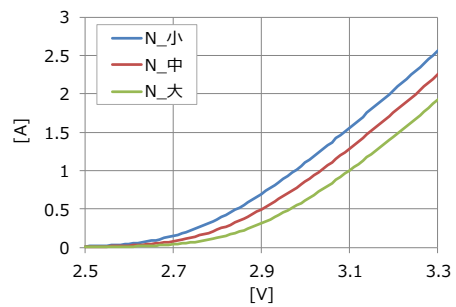


図 7. LED の特性例

4.1.3. RS: 直列抵抗

RS はダイオード(LED)に直列に接続された抵抗成分を意味します。一般的な LED ではボンディングワイヤーなどの接続部材が抵抗成分として考えられます。図 8 および図 9 のように抵抗成分である RS が大きくなるほど電流は流れにくくなるため、高電流領域での傾きを調整することができます。

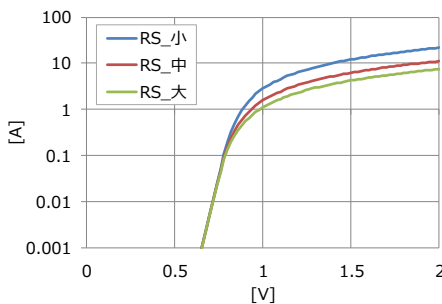


図 8. ダイオードの特性例

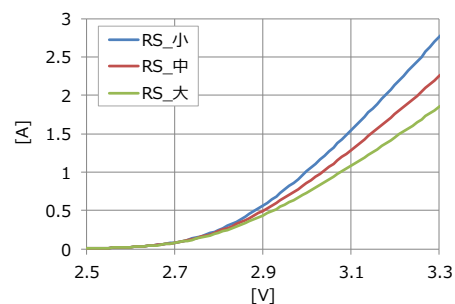


図 9. LED の特性例

4.1.4. IKF: 高注入折れ曲がり電流

IKF は高注入状態時の折れ曲がり電流を意味します。UCB のダイオードモデルには含まれていませんが PSPICE など代表的な SPICE シミュレータで使用されるパラメータです。順方向特性の傾きを途中で変えたい場合に使用し、図 10 および図 11 のように値が大きいほど高い電流値で傾きが変化ようになります。

ただし値が大きくなるほど傾きの変化点が高電流側に移っていくため実仕様領域においては IKF=0 の特性に収束していきます。

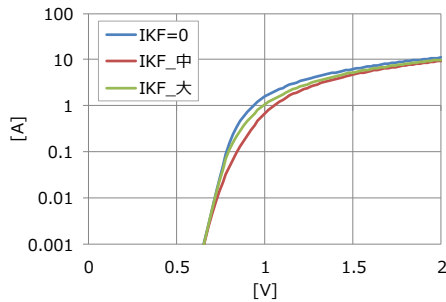


図 10. ダイオードの特性例

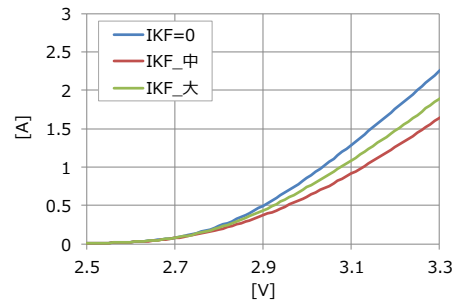


図 11. LED の特性例

4.2. 温度特性パラメータ

ジャンクション温度-電圧特性を再現するために EG、XTI が使用されます。ただし LED ジャンクション温度が 25°C 以上の場合での使用を想定してパラメータを調整しているため、LED ジャンクション温度が 25°C を大きく下回る条件では誤差が大きくなる場合があります。

4.2.1. EG: エネルギーギャップ

EG は一般的な半導体のバンド構造におけるエネルギーギャップ(禁制帯)を意味します。通常は半導体を構成する材質によって決まっている固有値を使用します。(Si=1.11eV など) ただし弊社 SPICE モデルでは温度特性の再現精度を優先してパラメータの値を調整しています。

4.2.2. XTI: IS の温度係数

XTI は順方向特性の調整で使用するパラメータ IS の温度係数です。ジャンクション温度による IS の変化量を調整でき、図 12 のように XTI が大きくなるほど温度特性の傾きは小さく(右肩下がりに)なります。弊社 SPICE モデルは 25°C を基準温度としているため 25°C を基点として傾きが変わります。なお基点となる電圧値はパラメータ IS、N、RS、IKF で決まります。

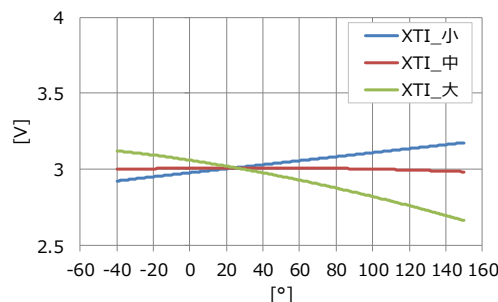


図 12. LED の特性例

4.3. 容量特性パラメータ

ダイオード(LED)にはコンデンサとして働く容量成分が存在します。ただし一般的なコンデンサとは異なり印加電圧値によって容量値が変動します。この電圧-容量特性を再現するためのパラメータが **CJO**、**M**、**VJ** です。

4.3.1. CJO: ゼロバイアス接合容量

CJO はゼロバイアス(電圧を印加せず電流が流れていない状態)での接合容量値を意味します。

4.3.2. M: 接合傾斜係数

M は接合傾斜係数を意味します。空乏層内の不純物濃度が pn 接合面でステップ状に変化するものを階段接合、徐々に変化していくものを傾斜接合と言います。この値を調整することにより電圧-容量特性の傾きを変化させることができます。通常は階段接合 ($M=1/2$) と傾斜接合 ($M=1/3$) の間で調整します。

4.3.3. VJ: 拡散電位

VJ は拡散電位を意味します。拡散電位とは電圧を印加していない状態での空乏層の電圧差のことです。パラメータ値は基本的に半導体材質によって決まります。

4.4. 逆方向(DC)特性パラメータ

逆方向における DC 特性として、漏れ電流や降伏現象(逆方向に高い電圧をかけた場合、ある電圧値から急に逆方向電流が流れ始める)を再現するためのパラメータが **ISR**、**NR**、**BV**、**IBV** です。

なお保護素子(ツェナーダイオードなど)を搭載する LED では逆方向特性は保護素子の順方向特性に依存するため、保護素子を搭載しない LED とは特性が大きく異なることがあります。(図 13 参照)

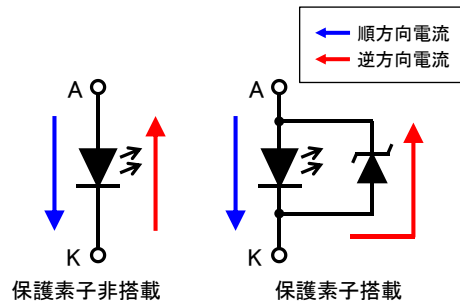


図 13. LED の逆方向特性

4.4.1. ISR: 再結合電流

ISR は再結合電流を意味します。逆方向の漏れ電流値を調整することができますが再結合電流の影響が大きい順方向の低電流領域特性にも影響を与えるため **IS** と一緒に調整する必要があります。

4.4.2. NR: 再結合電流 ISR の放射係数

NR は **ISR** の影響度の調整に使用する係数です。

4.4.3. BV: 逆方向降伏電圧

BV は降伏現象が起こる電圧値を意味します。ただし保護素子を搭載している LED では保護素子の順方向特性に依存するため一般的な降伏現象とは異なり、低い電圧から電流が流れ始めます。

4.4.4. IBV: 逆方向降伏電圧

逆方向降伏電圧 (BV) で流れる逆方向電流値です。

4.5. 逆方向(AC)特性パラメータ

逆方向における AC (過渡) 特性を再現するためのパラメータが TT です。逆方向(DC)特性同様、保護素子の影響を受けます。

4.5.1. TT: 逆回復特性

TT は逆回復特性を意味します。順方向駆動状態から逆方向に切り替えると、蓄積されていたキャリアが逆方向に移動(拡散)するため逆方向に電流が流れます。その後キャリア濃度が減少すると電流が流れなくなります。(図 14 参照) 逆回復特性は逆方向に切り替えた瞬間から逆方向電流が流れなくなるまでの時間を示します。この時間が短いほど応答特性に優れていると言えます。

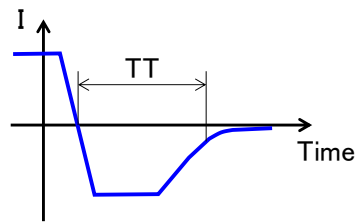


図 14. 逆回復特性波形

5. LED モデル使用上の注意点

- ・ 弊社が提供する SPICE モデルは製品の特性を保証するものではありません。また特性を完全に再現できているわけではなく誤差が生じます。SPICE モデルを使用したシミュレーション結果はあくまでも参考とし、必ず実機による評価を行ってください。
- ・ 順方向特性(順電流-順電圧)および温度特性(ジャンクション温度-順電圧)のみを再現したモデルとなります。その他の容量特性や逆方向特性、過渡特性などには対応していません。これら非対応特性に関するパラメータが必要な場合は弊社営業担当までお問合せください。
- ・ 再現される特性は製品の代表特性であり個々のばらつきや選別ランクを考慮したものではありません。代表特性以外のシミュレーションが必要な場合は弊社営業担当までお問合せください。
- ・ 製品のジャンクション温度が 25°C の場合の特性を基準特性として SPICE モデルを作成しています。シミュレーション時はお使いのシミュレータの基準温度設定が 25°C になっていることを確認してください。
- ・ 製品のジャンクション温度が 25°C 以上での使用を想定してモデルを作成しているため、低温度条件下のシミュレーションでは実特性との差が大きくなる場合があります。低温度領域で調整されたモデルが必要な場合は弊社営業担当までお問い合わせください。
- ・ 製品のジャンクション温度は器具の放熱仕様や駆動条件によって異なります。測定方法については製品仕様書およびアプリケーションノートを参照してください。
- ・ 低電流領域におけるシミュレーション結果は実特性との差が大きくなる傾向にあります。このため定格電流の 10% 以上でのシミュレーションを推奨します。
- ・ 一部のパラメータでは構成部材や構造によって値が決まるものがありますが、弊社 SPICE モデルは特性の再現精度を優先してモデルを作成しているため、パラメータが意味する理論値とは異なる場合があります。
- ・ 弊社では OrCAD PSPICE でモデルの動作確認を行っています。その他のシミュレータに関しては動作確認を行っておりません。
- ・ 弊社が提供するものはパラメータファイルのみであり回路図で使用するシンボルフイルは含まれません。お使いのシミュレータに適した LED のシンボルフイルをご準備ください。
- ・ パラメータファイルはテキストファイル形式(.txt)で提供します。お使いのシミュレータに対応するファイル形式に変換していただくか、事前にご準備いただいたパラメータファイルを上書きしてご使用ください。
- ・ "*" (アスタリスク) から始まる行は弊社管理のためのコメント行でありシミュレーションには影響ありません。

6. まとめ

SPICE モデルは完全に製品の特性を再現できているわけではなく誤差を含みます。これに製品個々の特性ばらつきや測定誤差などが積み重なると、実機による実測結果とシミュレーション結果の差が大きくなる場合があります。SPICE モデルを使用したシミュレーション結果はあくまでも参考とし、必ず実機にて設計通りの性能が出ていることをご確認ください。

弊社が提供する SPICE モデルに関してのご質問は弊社営業担当までお問い合わせください。

<免責事項>

本書は、弊社が管理し提供している参考技術文書です。
本書を利用される場合は、以下の注意点をお読みいただき、ご了承いただいたうえでご利用ください。

- ・ 本書は弊社が参考のために作成したものであり、弊社は、本書により何らの保証をも提供するものではありません。
- ・ 本書に記載されている情報は、製品の代表的動作および応用例を示したものであり、その使用に関して、弊社および第三者の知的財産権その他の権利の保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- ・ 本書に記載されている情報については正確を期すべく注意を払っておりますが、弊社は当該情報の完全性、正確性および有用性を一切保証するものではありません。また、当該情報を利用、使用、ダウンロードする等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、弊社は一切の責任を負いません。
- ・ 弊社は、本書の内容を事前あるいは事後の通知なく変更する場合がありますのでご了承ください。
- ・ 本書に記載されている情報等に関する著作権およびその他の権利は、弊社または弊社に利用を許諾した権利者に帰属します。弊社から事前の書面による承諾を得ることなく、本書の一部または全部をそのままあるいは改変して転載、複製等することはできません。

日亜化学工業株式会社

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

774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地

Phone: 0884-22-2311 Fax: 0884-21-0148