

# Bee Style:

Jul 2009: Bee Technologies

デバイスモデル

[SiCデバイス]

「エコ設計」を回路シミュレーションで検証

SiC JFET, SiC MOSFET, SiC SBD, SiC BJT

[バッテリー]

リチウムイオン電池

[トランス][第2回]

周波数モデル(SPICE)

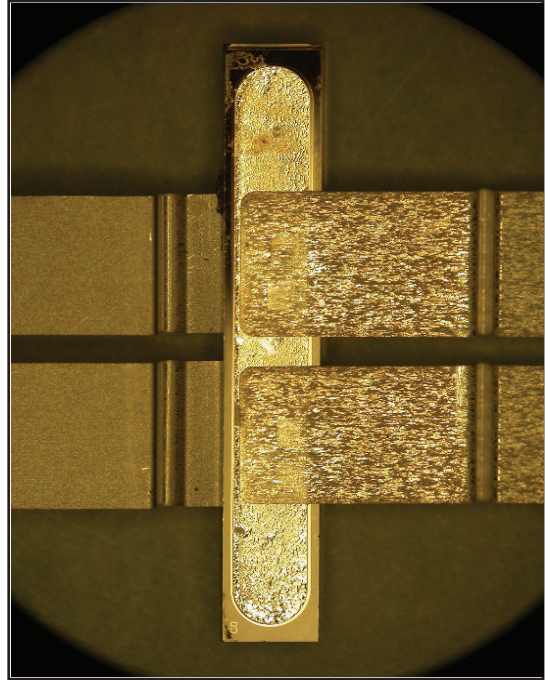
回路解析シミュレーション

[PSpice]

白色LED+Driver IC+リチウムイオン電池

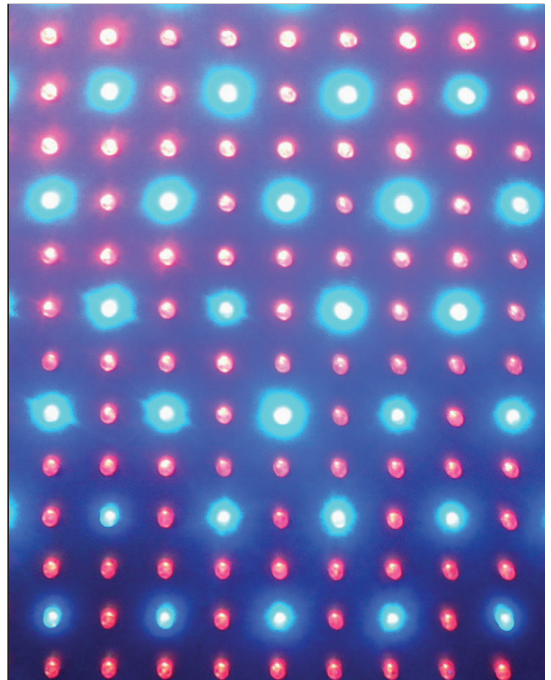
道具箱

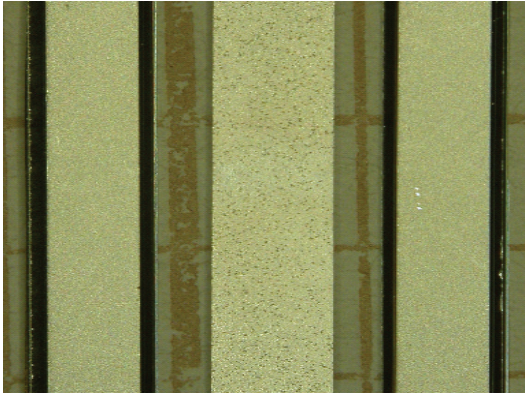
Agilent 4294A(測定機器)



bee-tech.com

株式会社ビー・テクノロジー





# デバイスモデル [SiCデバイス]

SiC JFET  
SiC MOSFET  
SiC SBD  
SiC BJT

「エコ設計」を回路シミュレーションで検証

2005年にお客様のご依頼により、SiCデバイスのスパイスモデルをご提供しています。デバイスの種類は、SiC JFET, SiC MOSFET, SiC SBD です。また、SiC BJTも着手しています。

特にパワーエレクトロニクスの世界において、SiC(炭化ケイ素)デバイスは次世代省エネ半導体として、注目されています。使用される予定分野は、身近なところでは、ハイブリッド自動車、電気自動車です。また、電力制御変換用半導体ですので、ハイテク家電製品、コンピュータ機器、精密電子機器にも応用されてきます。現在は、米国のCREE社が主導しておりますが、ドイツ、日本も近未来の技術として、開発に取り組んでいます。パワー半導体との性能指数は従来のSi(シリコン)デバイスの1000倍あると言われております(NEDO資料による)。実用化には「量産化」が課題となります。SiCには幾つかの結晶構造があります。高温で安定している順に、4H-SiC, 3C-SiC, 2H-SiCです。それぞれには特徴があり、用途に応じて、使い分けられますが、メインは、4H-SiCだと思えます。

SiCデバイスを回路に採用する際のメリットは下記の3つになります。

(1)リカバリ時間が非常に小さいSiCデバイスは多数キャリア・デバイスの為、蓄積された少数キャリアがありません。よって、逆回復電流がありません。これは、 $-di/dt$ 法で逆回復特性を測定した場合の $trr$ が非常に小さい値である事を意味します。

(2)ブレイクダウン電圧がシリコンの約10倍で

す。Siデバイスと比較して約10倍高いSiCデバイスは、オン抵抗を低くする事が出来、これが大きな特徴になります。

(3)バンドギャップがSiデバイスの約3倍スパイスのモデルパラメータではEGに相当します。Siデバイスの場合、 $EG=1.11$ ですが、SiC(6H)の場合、 $EG=2.86$ 、SiC(4H)の場合、 $EG=3.02$ となります。

「エコ設計」とは省エネ技術を駆使した設計の事を言います。回路設計的には消費電力を小さくする回路設計技術ですから、従来の回路設計と比較して、損失が小さくなれば省エネに貢献したことになります。損失(W:ワット)は、回路シミュレーション(SPICE)ですと、過渡解析を行い、[電圧波形のノード]と[電流波形のノード]の掛け算で簡単に計算が出来ます。これを回路シミュレーション(SPICE)を使用しないと、実機にて、オシロスコープのプロープで電圧波形を観察し、電流プロープで電流波形を観察し、計算しなければなりません。測定するだけでも膨大な工数が必要です。

また、回路図をシミュレーション上に作成し、両者(SiとSiC)のスパイス・モデルを準備し、Siデバイス採用時とSiCデバイスに置き換えた場合とで、損失=消費電力がどの程度改善出来るかも簡単にシミュレーションする事が出来ます。是非、お気軽にご相談下さい。

今回は、SiCデバイスの中で量産化にいち早く成功した実用的でありますSiC SBDのデバイスモデルについて簡単にご説明します。

対象は、CREE社の「CSD01060A」です。モデルのネットリスト記述は下記の通りです。

```
.SUBCKT CSD01060A PIN1 PIN2 CASE
X_U1 PIN2 CASE CSD01060_pro
R_Rs PIN1 CASE 10u
.ENDS
*$
.SUBCKT CSD01060_pro A K
V_V_I A N00040 0Vdc
V_V_lfwd IN2 K 0Vdc
E_E1 VREV 0 VALUE { IF(V(A,K)>0,
+0,V(A,K)) }
E_E3 I_REV0 0 VALUE { 1.4857e-
+08*exp(0.0089931*(-V(Vrev))) }
E_E4 I_REV 0 VALUE { V(I_rev0)*V
+(Vr_small)-I(V_V_lfwd) }
E_E6 IN K VALUE { IF(V(A,K)>0, V(A,K),0)
+ }
V_V_lrev VREV1 VREV 0Vdc
G_ABMI1 N00040 K VALUE { I(V_V_
+lfwd)-V(I_rev) }
E_E2 VR_SMALL 0 TABLE { V(Vrev) }
+ ( (-0.1,1) (0,0) )
D_D3 IN IN2 DCSD01060
R_R1 0 VR_SMALL 10MEG
D_D4 VREV1 0 DCSD01060
R_R2 0 I_REV0 10MEG
R_R3 0 I_REV 10MEG
.MODEL DCSD01060 D
+ IS=10.000E-21 N=.84507 RS=.37671
+ IKF=12.100
+ CJO=111.88E-12 M=.39264 VJ=.54581
+ BV=1000 IBV=20.000E-6
+ ISR=0 NR=1 EG=3.0 TT=0
.ENDS
*$
```

表現可能な特性は、順方向特性、逆方向特性、容量特性になります。上記の通り、モデルの種類は等価回路モデルです。

次にSiCの順方向特性及び逆方向特性の実測とシミュレーションの比較図をFig.1, Fig2に示します。

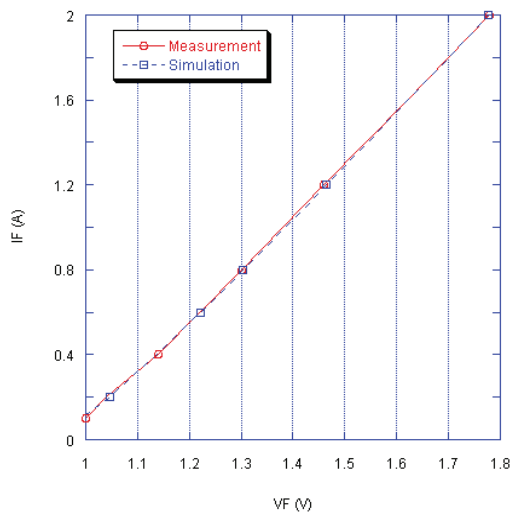


Fig.1 SiC SBDの順方向特性

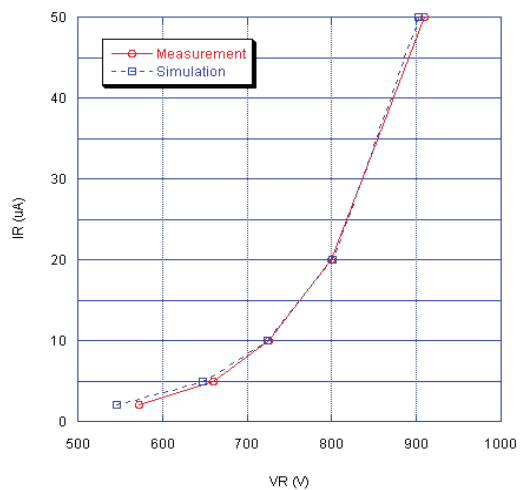


Fig.2 SiC SBDの逆方向特性

次ページに容量特性についての比較図を掲載致します。

\*\$: ネットリストの前後にある記号は、PSpice独自の記号です。この記述で前後のモデルの区別が出来ます。  
等価回路: デバイスを電氣的に等価的に表現した回路

# デバイスモデル [バッテリー]

リチウムイオン電池  
リチウム電池  
ニッケル水素電池  
etc.

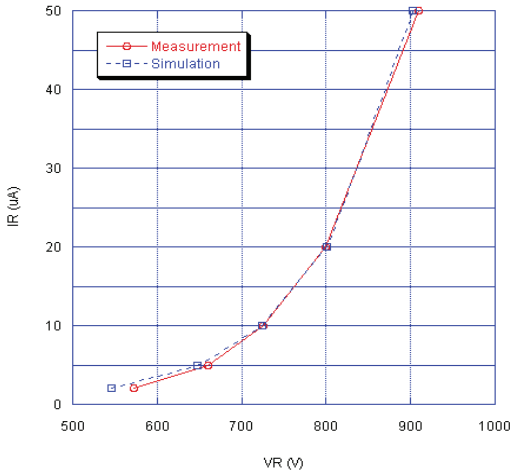


Fig.3 SiC SBDの容量特性

常にモデルの解析精度向上に努めております。SiCデバイスのモデルは、等価回路モデルの為、一部のSPICE系シミュレータにて、動作しない場合もあります。お問い合わせ下さい。

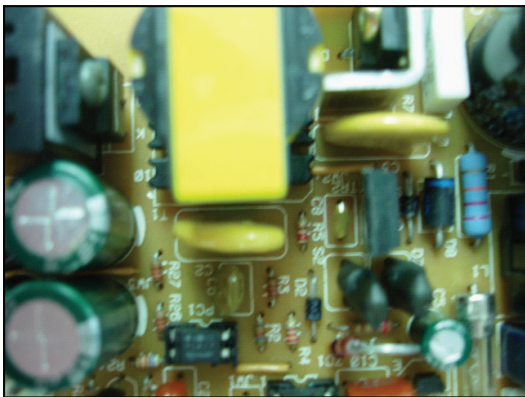
また、デバイスモデルのみではなく、回路シミュレーションについてもサポート可能です。

## [ポイント]

SiデバイスとSiCデバイスのモデルを準備し、回路解析シミュレーションで過渡解析を行えば、(電圧:V)×(電流:I)で簡単に損失(W)計算が出来、SiデバイスとSiCデバイスの効率を比較する事が出来ます。

通常の回路解析シミュレーションの場合、過渡解析において、nsec、 $\mu$ sec等の単位ですが、バッテリーを含めたシミュレーションの場合、時間軸が数千秒-数万秒にも及びます。よって、バッテリーのデバイスモデリングの際には「収束性」と「計算時間」が問われる事が多いです。現在、ご提供可能なバッテリーのSPICEモデルの種類は、リチウムイオン電池、リチウム電池、ニッケル水素電池を含む7種類です。種類は2種類あります。負荷抵抗固定モデルと負荷抵抗可変モデルです。既に回路的な負荷抵抗が決まっている場合には、負荷抵抗固定モデルを採用します。

負荷抵抗が条件により、変動する場合には、負荷抵抗可変モデルを採用します。ここで言う変動とは、バッテリーで動作する回路が、フル稼働であったり、省エネモード(消費電力が低い)になったりして、負荷抵抗が変動する場合があります。



収束問題はSPICE系シミュレータでは必ず直面する課題です。大抵の場合、SPICEの.OPTIONで問題解決されますが、回路方式等により、収束しにくいものもあります。ケース・バイ・ケースの対応が必要ですが、過渡解析において、急変する場合、インダクタンスを使用した誘導負荷回路の場合、収束問題の発生確率が高くなります。

負荷抵抗固定モデルのシミュレーションの一例を下記(Fig.4)に示します。

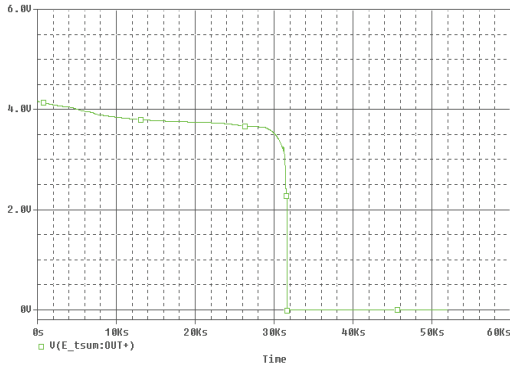


Fig.4 負荷抵抗固定モデルの放電特性

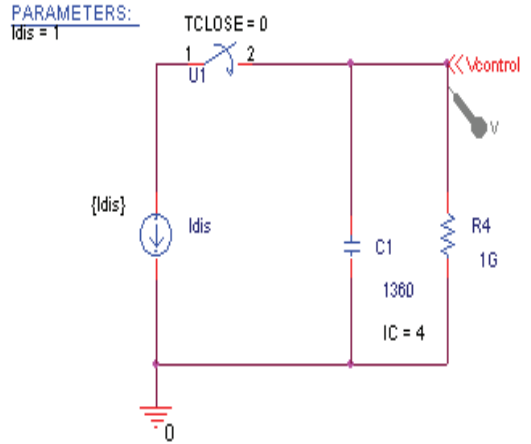


Fig.5 バッテリーモデルの考え方

次に負荷抵抗可変モデルです。等価回路モデルの考え方の基礎となっている回路図(Fig.5)を示します。

Fig.6にバッテリーの負荷抵抗可変モデルの等価回路図を示します。

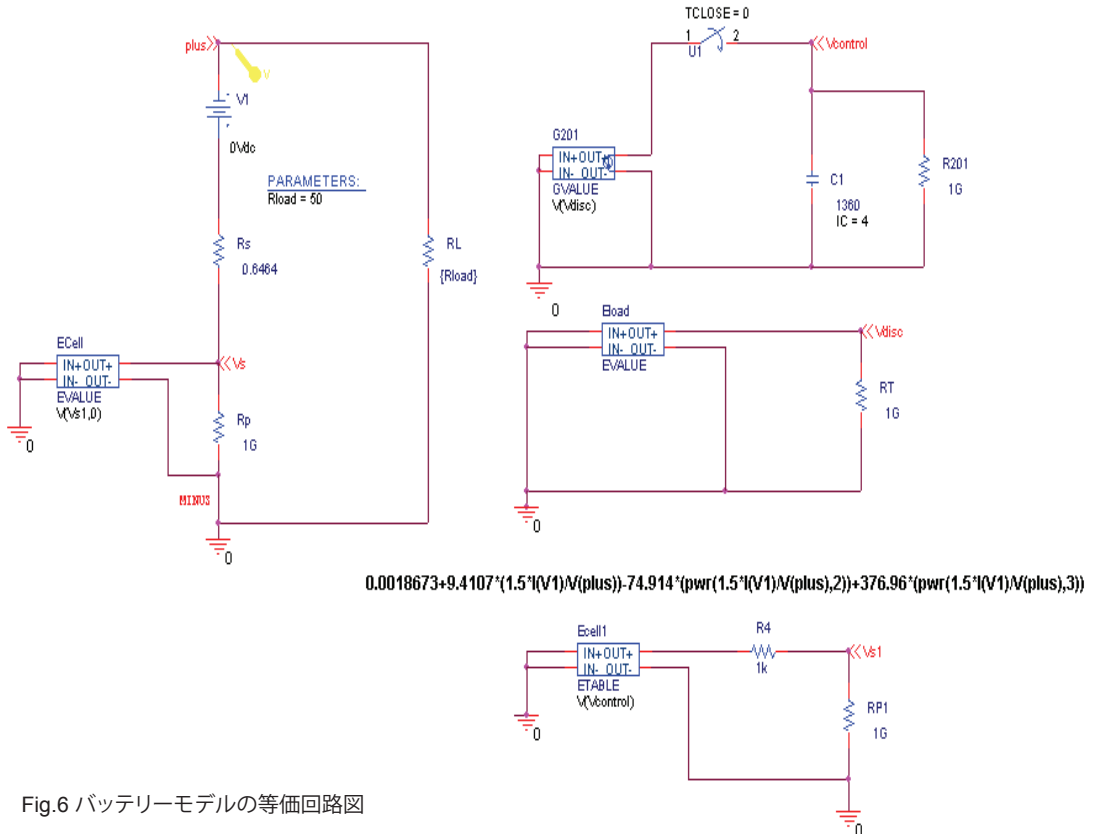


Fig.6 バッテリーモデルの等価回路図

負荷抵抗可変モデルのシミュレーション結果をFig.7に示します。

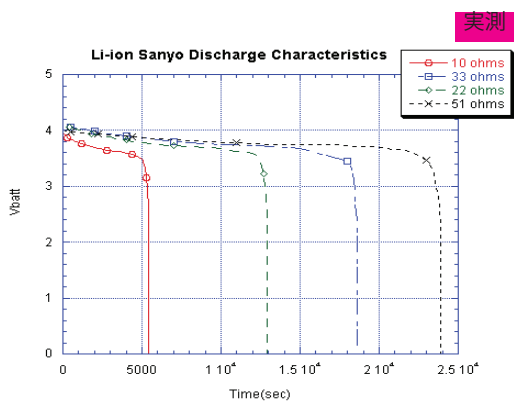
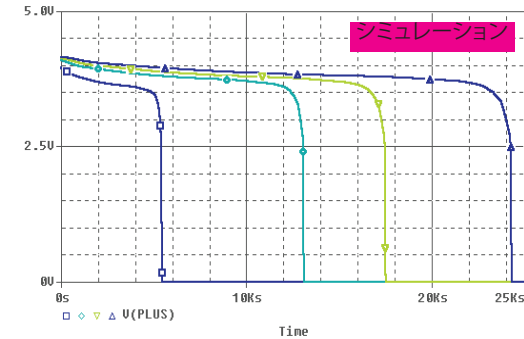


Fig.7 シミュレーション結果

## [ポイント]

バッテリーを含めた回路システムをシミュレーションする場合、負荷抵抗可変モデルを採用する事で、回路動作がフル稼働の場合、安定稼働の場合、省エネモードの場合でバッテリーの電圧がどのように変化するかを過渡解析によって、シミュレートする事が出来ます。

バッテリーの稼働時間も色々な条件を変えてシミュレーションすることで、見積もる事が出来ます。

## [開発進行中]

現在のモデルは、放電特性です。充電特性を表現可能な等価回路を開発中です。

# デバイスモデル [トランス][第2回]

## 周波数モデル

先ずBee Style: vol.002の記載に関する正誤表のご案内です。小冊子の7ページに、デバイスモデル[トランス][第1回]として、記事が掲載されています。文章2列目の真ん中あたりの文章に誤りがあります。

誤)

1次側、2次側にコイルを配置し、ターン数をValueに入れます。例えば、10ターンであれば10Tです。そして、結合係数Kにて、各コイルを結合させます。これで完成です。

正)

1次側、2次側にコイルを配置し、ターン数をValueに入れます。例えば、10ターンであれば10です。そして、結合係数Kにて、各コイルを結合させます。これで完成です。

「10T」を「10」に変更し、お読み下さい。

PSpiceのコアモデルを採用した場合、巻き数(Turns)のTは不要とのことです。

コアモデルに関しての事例を説明したかったのですが、色々な疑問点が発生し、開発元(PSpice)に確認中の為、周波数モデルについて解説致します。周波数モデルの方が一般的です。

周波数モデルのモデリングに必要な測定データはインピーダンス特性です。各PINにおけるデータが必要です。また、リーケージインダクタンス成分も測定データがあれば等価回路図に反映出来、確度が向上します。ビー・テクノロジーでは、Agilent 4294Aを導入しております。測定により、Fig.8のようなデータが得られます。通常は共振周波数は1つですが、Fig.8の

のような場合もあります。ケース・バイ・ケースです。この測定器から得られる成分は、LCRの並列回路成分です。直列抵抗が影響すると考えられる場合には、直列抵抗成分をマルチメータで測定し、反映させます。

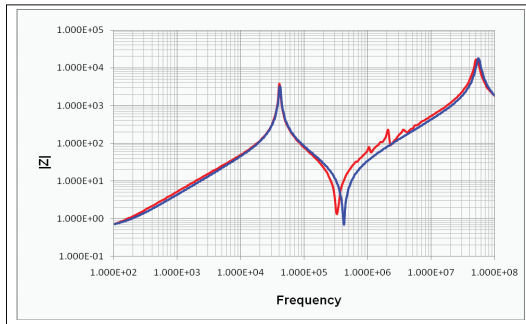


Fig.8 インピーダンス特性

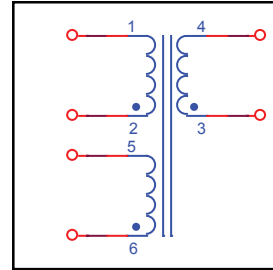


Fig.9 回路図シンボル

Pin1-2,Pin5-6,Pin4-3そしてリーケージ・インダクタンス成分を測定し、Fig.10の等価回路図に反映させます。これで完成です。

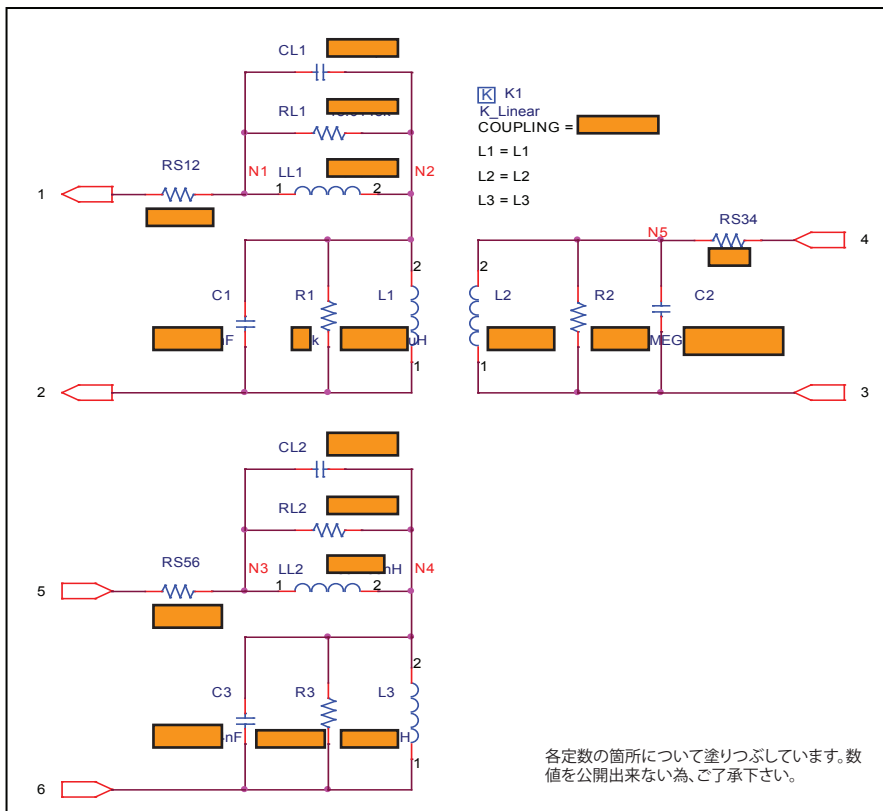


Fig.10 トランスの等価回路図



# 回路解析シミュレーション [PSpice]

白色LED+Driver IC+リチウムイオン電池

[http://beetech.web.infoseek.co.jp/products/material/material\\_06.html](http://beetech.web.infoseek.co.jp/products/material/material_06.html)  
 価格: 21,000円(消費税込)

今回の事例は、デバイスモデリング教材からのご紹介になります。

1. デバイスモデリングについて
2. 序論
3. 白色発光ダイオードのデバイスモデリング
  - 3.1 順方向特性
  - 3.2 容量特性
  - 3.3 スイッチング特性
  - 3.4 白色発光ダイオード以外の発光ダイオード
  - 3.5 サーマル・デバイスモデリングについて
4. 白色発光ダイオードの評価解析シミュレーション
  - 4.1 順方向特性シミュレーション
  - 4.2 容量特性シミュレーション
  - 4.3 スイッチング特性シミュレーション
5. リチウムイオン電池のデバイスモデリング
  - 5.1 負荷抵抗一定モデル
  - 5.2 負荷抵抗可変モデル
  - 5.3 サーマル・デバイスモデリングについて
6. リチウムイオン電池の評価解析シミュレーション
  7. PSpiceにおける非昇圧型白色発光ダイオード・ドライバ回路における温度依存の回路解析シミュレーション
    - 7.1 常温時における回路解析シミュレーション
    - 7.2 低温時における回路解析シミュレーション
    - 7.3 高温時における回路解析シミュレーション

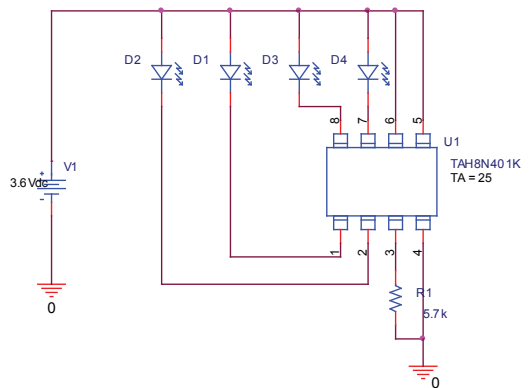


Fig.11 アプリケーション回路図

照電圧を周囲温度にて関数化しました。D1-D4は白色LEDです。リチウムイオン電池及び白色LEDも温度モデルを幾つかモデリングしました。これらは、1つのモデルで全ての温度範囲を表現出来ず、任意の温度毎にモデル化しました。Ta(周囲温度)=40,25,0,-20,-40℃です。

各種モデルとシミュレーションデータとパワーポイント、323枚で構成されています。特に**バッテリーモデル、白色発光ダイオード**にご関心がある方にご提供したい製品です。また、常温、低温、高温における回路解析シミュレーションもご体験出来ます。アプリケーション回路図はFig.11の通りです。V1はリチウムイオン電池です。U1は東芝セミコンダクター社の白色LEDドライバーICです。このICのモデルは、機能ブロックを等価回路にし、モデル化しました。温度の影響度合いもTAと言うパラメータを作成し、表現しております。このICの場合、参

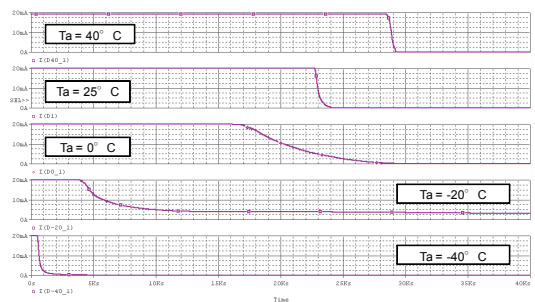


Fig.12 各温度におけるシミュレーション結果



## 道具箱

### Agilent 4294A(測定機器)

Fig.12の結果から解ることは低温状態(ここでは寒冷地を示す)では、半導体側の温度性能ではなく、リチウムイオン電池の温度依存性が非常に高い事が解ります。これらの温度動作の検証は、半導体部品の構成だけではシミュレーションに再現性は無く、リチウムイオン電池の正確なモデルを採用する事で色々なケースでの検証が可能になった事例です。

ご参考までにシミュレーション設定を掲載します。通常の回路解析シミュレーションと異なる点は、解析時間が、40,000秒であると言う事です。また、下記のOptionsは収束エラーを回避する為の設定です。

#### [シミュレーション設定]

Analysis type: Time Domain (Transient)

Run to time: 40k

Maximum step size: 10

Options:

RELTOL: 0.01

VNTOL: 1m

ABSTOL: 1n

ITL1: 500

ITL2: 200

ITL4: 40

Use GMIN stepping to improve



今回のご紹介は、受動部品のモデリングの際に活躍しています「プレジジョン インピーダンス・アナライザ」のAgilent 4294Aです。周波数範囲は、40-110MHzです。通常の受動部品であれば、この範囲内に共振周波数がありますので、問題なく使用出来ます。

ビー・テクノロジーの新入社員研修の比較的最早いプログラムに受動部品についての体験コースを準備しています。ここでの目的は2つあります。

(1)例えばコンデンサの場合、回路図記号には見えてきませんが、LCRの直列回路で構成されている事を体験してもらいます。ESLとESRの存在を知ってもらいます。これは、見えない素子も正確に表現する事で、シミュレーション技術は向上します。

(2)コンデンサの種類によって、インピーダンス特性が異なることを理解してもらいます。電解コンデンサの場合にはバスタブのようなカーブであり、セラミックコンデンサの場合、共振周波数が明確な程に鋭利な形状です。

上記の事柄は教科書、技術文献には記載されていますが、やはり、手を動かし、体験する事で、深く知識化出来ると思います。当社の業務はデバイスモデリングとシミュレーションですが、現場では、計測、回路実験を繰り返し、シミュレーションの再現性向上に反映させています。

測定機器の詳細は下記URLを参照して下さい。

国内販売元

<http://www.home.agilent.com/agilent/product.jsp?pn=4294A&NEWCCLC=JPjpn>

## Bee Style: Volume 003

2009年7月10日 発行

編者:株式会社ビー・テクノロジー

発行人:堀米 毅

郵便番号105-0012 東京都港区芝大門1-5-3 大門梅澤ビル3階

Tel (03)5401-3851 (代表)

Fax (03)5401-3852

電子メール info@bee-tech.com