

UTMOST IV自動オブティマイゼーションを使用したHiSIM_HV単一形状パラメータ抽出

はじめに

UTMOST IIIを使用するHiSIM_HVモデル・パラメータ抽出について、別のSimucadアプリケーション・ノート [参考文献 1] で説明しています。本稿では、HiSIM_HV単一形状パラメータ抽出のためのUTMOST IVオブティマイゼーションの設定について詳しく説明します。このパラメータ抽出は、連続フローとして自動化が可能です。

UTMOST IVオブティマイズ・モジュールは高性能ですが、そのシーケンス自体はHiSIM_HVモデルのコンセプトに従う必要があります。本稿では、ドリフト抵抗モデルのフラグをCORSRD = 3と設定しています。また、SmartSpice 3.11.30.C、またはそれ以降のバージョンを必要とするHiSIM_HV v.1.1.1を使用しています。

測定データ要件

データ要件に関しては、UTMOST IIIのアプリケーション・ノート [参考文献1]の一部を次に抜粋しています。この要件は、オブティマイゼーションの効率および品質に多大な影響を与えます。UTMOST IV 1.4.13.R以降のバージョンは、UTMOST IIIのAL_IDVGBルーチンのログ・ファイルからデータをインポートできます。UTMOST IVの専用データ・フォーマットは一般的なもので、サードパーティのツールを使用しているユーザ向けにデータ変換スクリプトを用意しています。

通常の測定データ(線形および飽和領域におけるIds/VdsおよびIds/Vgs)に、いくつかのドレイン電圧値におけるIds/Vgs曲線を追加することで、HiSIM_HVモデル・パラメータ抽出を確実なものにします。HiSIM_HVモデル開発の主目的である、LDMOSやドレイン拡張MOS (XDMOS)などの高耐圧アプリケーション用デバイスは、強い擬似飽和効果、高ゲート電圧領域におけるトランスコンダクタンスの低減、および自己発熱効果などの特性を示します。これらの領域をカバーするようにIds/Vgsに対してドレイン電圧条件を選択する必要があります。

UTMOST III 25.1.1.C以降のバージョンには、この目的のためにAL_IDVGBという新しい抽出ルーチンが導入されています。AL_IDVGBデータは、主としてHiSIM_HVパラメータのオブティマイゼーション用に使用します。ALL_DC Ids/Vds曲線

は、最終オブティマイゼーション段階で使用します。

LDMOSデータ・セットは、チャンネル長が固定され、ボディ・コンタクトはソース端子にショートされているために、柔軟性に欠けます。分離されたソースとボディ・コンタクトを有するテスト構造が、HiSIM_HVパラメータ抽出に適しています。それは、正確な基板濃度パラメータをこのパラメータ抽出が必要としているからです。

XDMOSデータ・セットは、分離されたソースとボディの端子を有する、large lengthアレイ・デバイスおよびwidthアレイ・デバイスの形状構造が、パラメータ抽出に適しています。

UTMOST IVオブティマイゼーション・シーケンス: 単一形状

本稿において、UTMOST IVオブティマイズとして、遺伝的アルゴリズムとLevenberg-Marquardt法の混成を選択します。

1. 線形領域におけるIds/Vgs-Vbsを使用するHiSIM_HVパラメータ抽出

データのサブセット

基準デバイスの線形領域におけるIds/Vgs-Vbsを、パラメータ・オブティマイゼーションの第1段階として使用します。

Optimization Setup Property: idvg_large_1 (図1)

最初に、HiSIM_HVの基本デバイス・パラメータであるNSUBC (基板不純物濃度)、VFBC (フラット・バンド電圧)、および低電界移動度パラメータであるMUECB0、MUECB1 (クーロン散乱)をオブティマイズします。また、XLDLD (ドレイン側でゲートとオーバーラップする長さ)パラメータもオブティマイズして、効果的なチャンネル長を決定します。NDEP (有効電界における空乏層電荷の寄与)は、高耐圧デバイス用のオプションです。NSUBCの最大値/最小値はプロセスの仕様によって定義できます。広い範囲にすると、遺伝的アルゴリズムによるオブティマイゼーションにおいて、不必要な探索を行うことになる可能性があります。

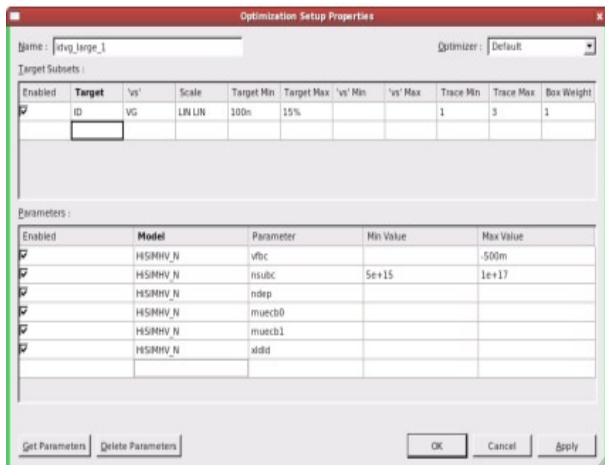


図1: idvg_large_1に対するUTMOST IV [Optimization Setup Property]ダイアログでの設定

ターゲットのドレイン電流領域はしきい値電圧の始まりの前後です。そして、ターゲットのトレース数は少なくとも3点です。HiSIM_HVモデルのNSUBCは本来の基板濃度で、しきい値電圧とVbsによる電圧変化(ボディ・バイアス効果)を決定します。これらのパラメータはHiSIM_HVモデルの基盤を形成するため、この段階は非常に重要です。

Optimization Setup Property: idvg_large_2 (図2)

次の段階では、HiSIM_HVの低電界移動度パラメータを決定します。ターゲットのドレイン電流領域を明確に定義することは困難です。というのも、高耐圧デバイスのドレイン電流はドリフト領域の抵抗の影響を受けるからです。ここで言えることは、高耐圧デバイスの低電界移動度パラメータに対して、全電流領域をターゲットとして使用すべきではないということです。ターゲットを全電流域とすると、ドリフト領域の抵抗により生じる電流低下に対して、移動度効果を過大に見積もることになります。ターゲット・トレースは、移動度パラメータに対してVbs = 0です。

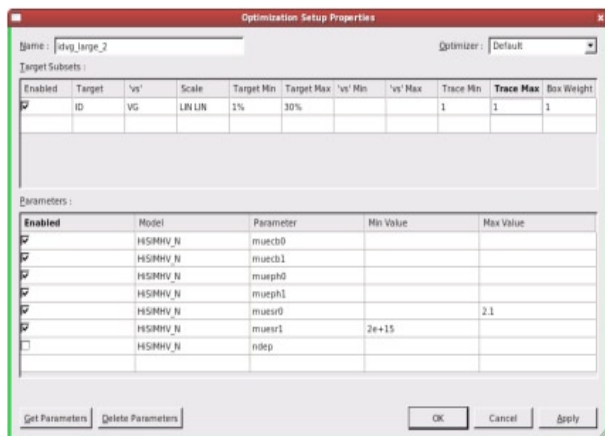


図2: idvg_large_2に対するUTMOST IV [Optimization Setup Property]ダイアログでの設定

Optimization Setup Property: idvg_large_hisimhv (図3)

RDVG11やRDVG12(RDのVgs依存性)などのいくつかのHiSIM_HVドリフト抵抗パラメータを線形領域のIds/Vgs-Vbsに対して最適化して、たとえ抵抗効果がこの領域において小さいものであっても、初期値を求めます。また、RDVB(CORSRD=1,3時のRDのVbs依存性)とRD22(CORSRD=2,3時のRDのVbs依存性)パラメータも最適化して、ドレイン電流におけるVbsの影響を求めます。

ターゲットのドレイン電流は、複数のトレースを持つ大きい電流領域です。

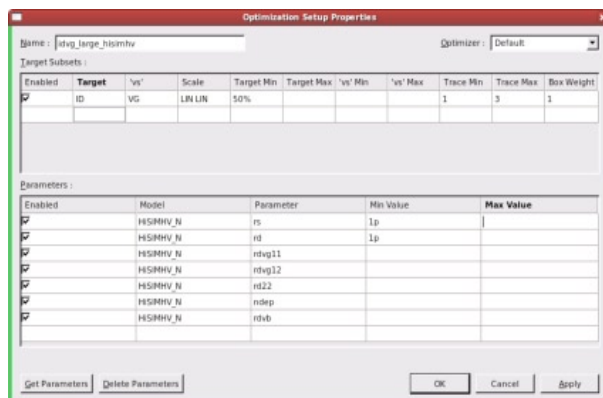


図3: idvg_large_hisimhvに対するUTMOST IV [Optimization Setup Property]ダイアログでの設定

Optimization Setup Property: idvg_large_hisimhv2 (図4)

この設定では、低電界移動度とドリフト抵抗のモデル・パラメータを組み合わせています。ターゲットのドレイン電流は、しきい値より高い、すべての電流範囲で、Vbs変動を含んでいます。これは両方のモデル・パラメータ・セットのバランスを取るため、それぞれのパラメータ・セットに関して、初期値は、個別領域で別々に最適化されています。

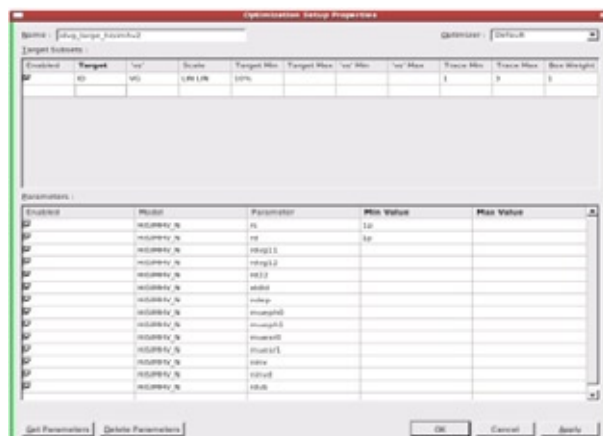


図4: idvg_large_hisimhv2に対するUTMOST IV [Optimization Setup Property]ダイアログでの設定

2. いくつかの Vds 条件下の Ids/Vgs を使用する HiSIM_HV パラメータ抽出

データのサブセット

HiSIM_HV パラメータ抽出の主要部となる次の段階に進みます。ここでは、いくつかの Vds バイアス条件における Ids/Vgs を使用して、ドリフト抵抗パラメータを最適化します。これは、高耐圧デバイスにおける擬似飽和表現、高 Vgs におけるトランスコンダクタンス低減、および自己発熱効果に対する適切なモデルを得る重要な段階です。この段階を完了した時点で Ids/Vds-Vgs の表現がその特徴を欠いているときは、追加測定を行って、Ids/Vgs に対する Vds バイアス・ステップ数を増やします。そうしないと、次に行う Ids/Vds-Vgs オプティマイゼーションに時間がかかり、合わせこみの質は低くなるでしょう。

Optimization Setup Property: idvg_hvds_hisimhv1 (図 5)

VMAX、VOVER、VOVERP などのキャリア速度パラメータは、比較的低い Vgs において、高ドレイン電圧時の Ids/Vgs を必要とします。同時に、ほとんどすべての HiSIM_HV ドリフト抵抗モデル・パラメータを選択する必要があります。それは、抵抗効果はドレイン・バイアスが増加するにつれ顕著になるからです。パラメータの分解は、HiSIM_HV ドリフト抵抗式が相互に作用するために、現実的ではありません。

ターゲットのドレイン電流領域は、適切なパラメータ初期値 (キャリア速度パラメータを除く) を抽出するために使用されます。領域は電流の中央領域に比べてより小さくします。ドリフト抵抗において Vbs 効果が確認できる場合は、多数のターゲット・トレース数を設定する必要があるでしょう。

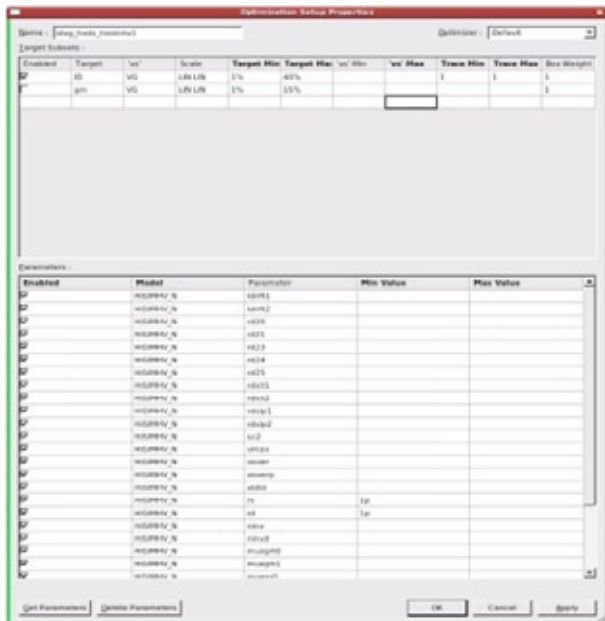


図5: idvg_hvds_hisimhv1 に対する UTMOST IV [Optimization Setup Property] ダイアログでの設定

Optimization Setup Property: idvg_hvds_hisimhv2 (図 6)

モデル・パラメータは、前述の段階で使用したパラメータとほぼ同じです。相違はターゲットのドレイン電流領域で、高 Vgs 電圧におけるドレイン電流領域になります。ドレイン電流には、ドレイン・バイアスが増加するにつれ、擬似飽和、自己発熱、およびインパクト・イオン化の効果が含まれます。Ids/Vds-Vgs において自己発熱効果が見受けられる場合、RTHO (熱抵抗) パラメータを最適化する必要があります。

ほぼ最大値、および中央値から最大値までのドレイン電流領域を使用すると、高 Vgs におけるトランスコンダクタンス (gm) 劣化のモデリングを改善できます。

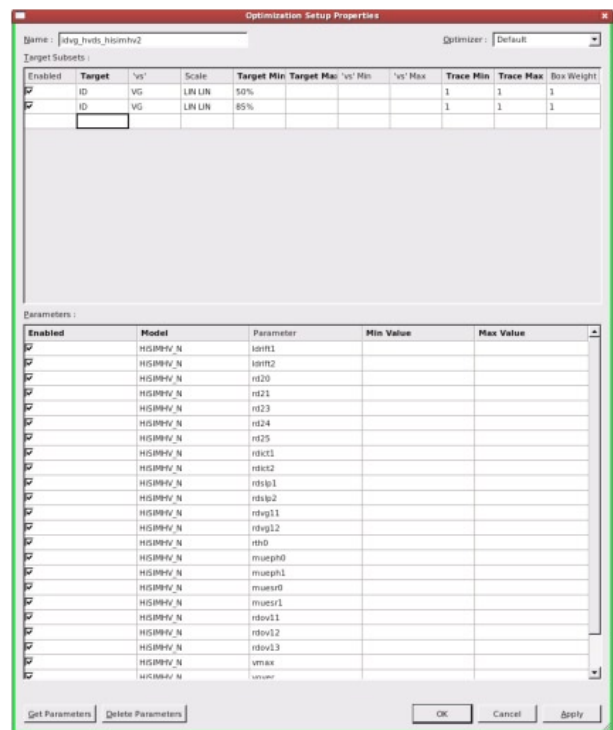


図6: idvg_hvds_hisimhv2 に対する UTMOST IV [Optimization Setup Property] ダイアログでの設定

3. Ids/Vds-Vgs を使用する HiSIM_HV パラメータ抽出

データのサブセット

HiSIM_HV 単一形状パラメータ抽出の最後の段階では、Ids/Vds-Vgs を使用します。いくつかの Vds 条件における Ids/Vgs-Vbs を使用する先の段階において、Vds 条件が前述したような高耐圧デバイスに特化した現象を網羅している場合は、Ids/Vds-Vgs に対して妥当な合わせこみ結果とならなければいけません。Ids/Vds-Vgs の結果が特徴的な点を示さないときは、前の段階をチェックする必要があります。

Optimization Setup Property: idvd (図7)

HiSIM_HVのほぼすべてのモデル・パラメータを使用します。例外は、NSUBC、VFBC、およびドリフト抵抗のボディ・バイアス効果パラメータです。これは、Ids/Vgs-Vbsを用いて先に最適化したパラメータに基づき Ids/Vds-Vgs特性に対しモデル・パラメータを若干調整するためです。これまでに最適化されたパラメータ値が初期値セットとして妥当であることから、最適化に Levenberg-Marquardt法を選択できます。ターゲットのドレイン電流を次のような関連領域に分割可能です：擬飽和領域、高Vgs時のトランスコンダクタンス (gm)低減領域、自己発熱によるドレイン電流の負の勾配領域、および高Vds時のインパクト・イオン化による電流増加領域。

まとめ

HiSIM_HV単一形状パラメータ抽出のための UTMOST IV最適化の設定について説明しました。HiSIM_HVパラメータ抽出は複雑になるかもしれませんが、UTMOST IVの遺伝的アルゴリズムに効率的な Levenberg-Marquardt法を組み合わせた最適化により自動抽出が可能です。UTMOST IVによる HiSIM_HVパラメータの最適化の最初の段階では、慎重にパラメータを選択し、適切なターゲット領域を設定する必要がありますが、プロセスの他の部分では綿密な設定は無用です。UTMOST IV最適化・モジュールは高速シミュレーション機能を備えることで、遺伝的アルゴリズムによる最適化が必要とされるグローバル・パラメータ探索が可能です。

参考文献

- [1] Simucad アプリケーション・ノート1-016 『HiSIM_HVのためのUTMOST IIIローカル・最適化のテンプレート』

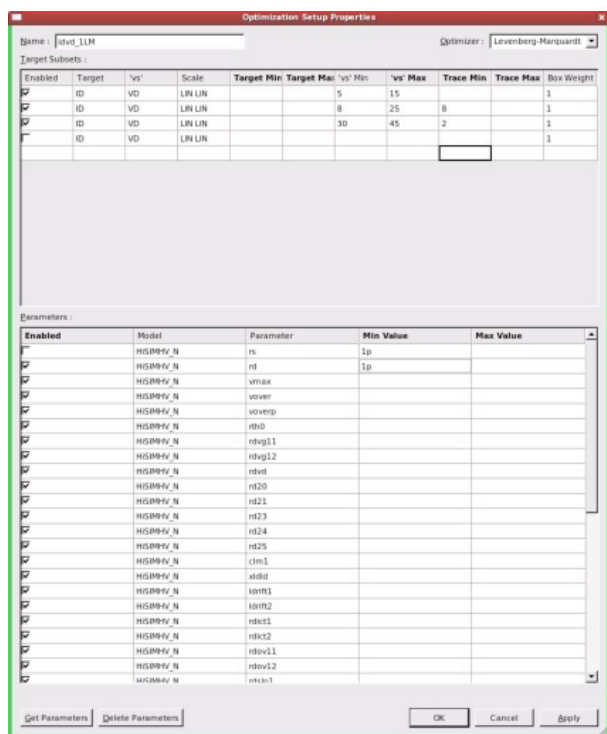


図7: ids/vdsに対するUTMOST IV [Optimization Setup Property]ダイアログでの設定