



オンラインセミナー 半導体デバイスシミュレーション入門から 最新応用まで ~物理モデルの基礎から Advance/TCAD による AI・電磁波解析との連携~

2025 年 10 月 22 日 (水) 開催

プログラム

1. アドバンスソフト株式会社のご紹介 主催者あいさつ 1
2. 半導体デバイスシミュレーションの解析事例と当社のソリューション 5
3. デバイスシミュレーションの精度を決める物理モデルと数値計算技術 26
4. Advance/TCAD-GUI の最新開発状況と活用ポイント 31
5. デバイスシミュレーションと AI を組み合わせた歩留まり向上の可能性 36
6. Advance/ParallelWave による光と半導体の連成解析機能のご紹介 41
7. 価格と関連サービスのご紹介 47



アドバンスソフト株式会社のご紹介

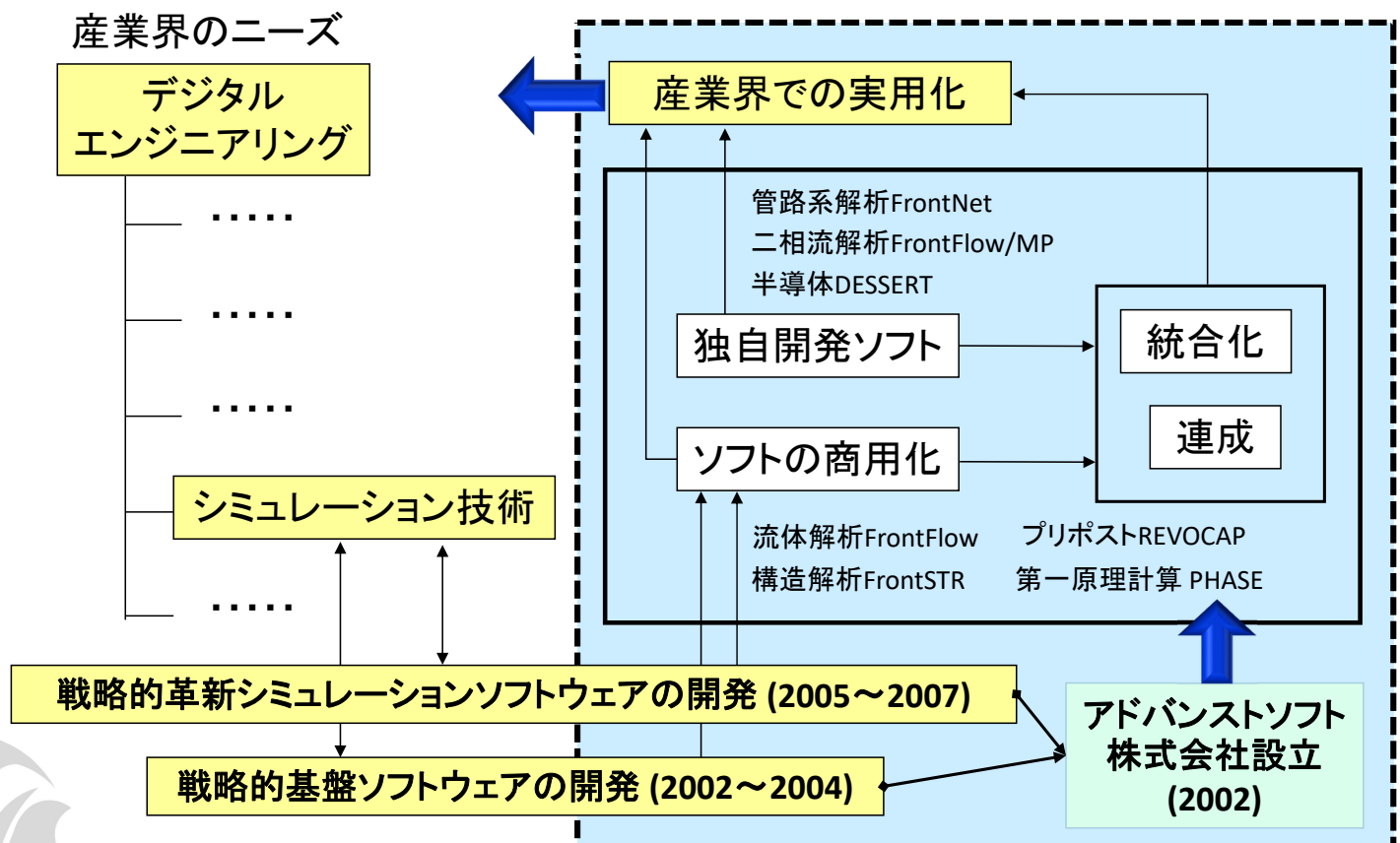
半導体デバイスシミュレーション入門から最新応用まで
～物理モデルの基礎から Advance/TCAD による
AI・電磁波解析との連携～

2025年10月22日（水）
アドバンスソフト株式会社

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

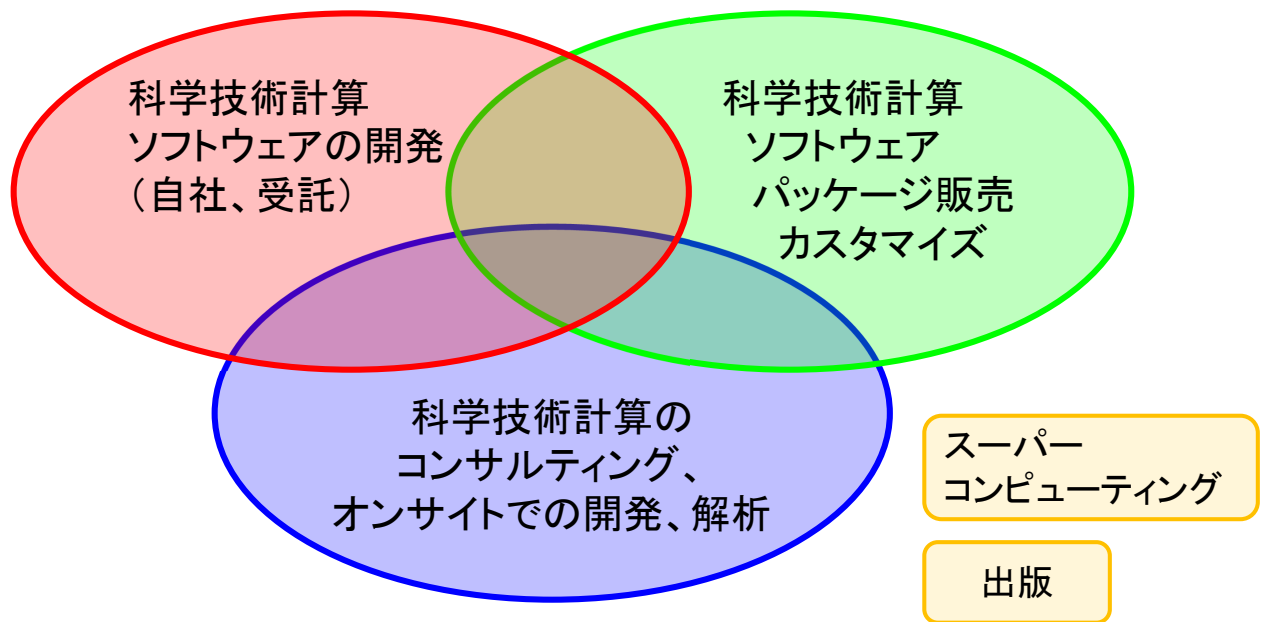
アドバンスソフトとは



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

事業内容

アドバンスソフトがご提供するサービス



科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、
科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。

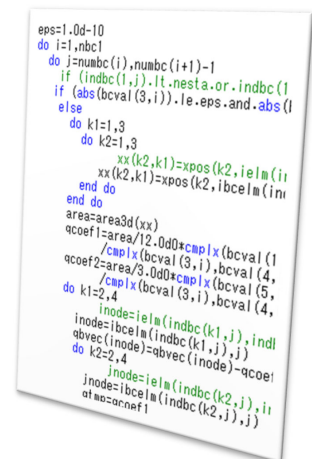
アドバンスソフトの特徴

- ・ シミュレーションソフトウェアの開発力
 - 自社でソースコードを所有し、事業化
 - ニーズに対し自社でカスタマイズが可能
 - 計算原理とその限界を熟知した技術者

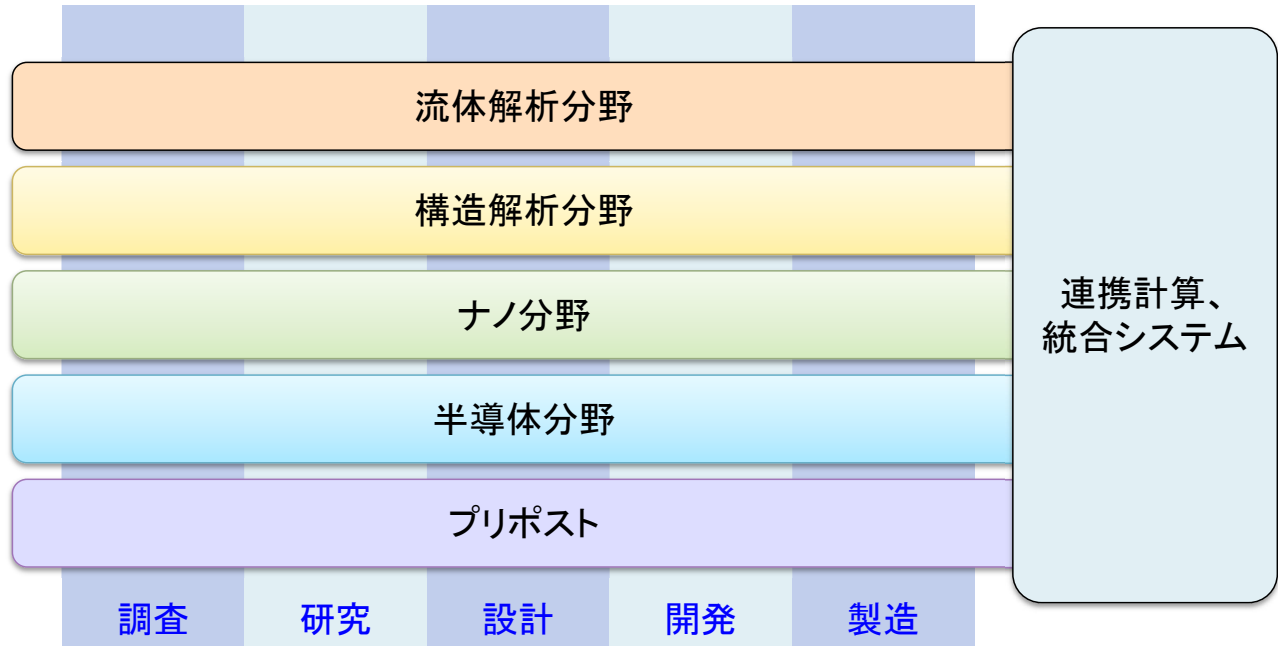


✓ 幅広い分野

- ナノから構造・流体分野の幅広い技術
- 製造業・原子力から材料・半導体産業までの幅広いニーズに対応
- お客様に多種多様な提案が可能



事業分野



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、科学技術計算によるソリューションをご提供します。

ソフトウェアご紹介

第一原理計算ソフトウェア Advance/PHASE 密度汎関数理論に基づき、物質の性質を原子・分子レベルから解析する第一原理計算ソフトウェアです。 ナノ材料 GUI 付属	ナノ材料解析統合 GUI Advance/NanoLabo 材料解析ソフトウェア QuantumESPRESSO と LAMMPS に対応した統合 GUI です。 ナノ材料 プリポスト	流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red 非圧縮性から圧縮性流れまで、広範囲で複雑な流れに対応した汎用 3 次元流体解析ソフトウェアです。 流体	圧縮性流体解析ソルバー Advance/FOCUS-i 非構造格子に対応した圧縮性流体解析ソルバーです。特に超音速や超音速の流れに適しており、高い並列化効率で計算出来ます。 流体
大規模 3 次元 TCAD システム Advance/TCAD 超微細半導体デバイスからパワーデバイスまで、高度な機能と使いやすい GUI を備えた 3 次元 TCAD システムです。 半導体デバイス GUI 付属	ニューラルネットワーク分子力学システム Advance/NeuralMD Neural Network Potential に基づいた分子力学のソフトウェアです。第一原理計算の結果を教師データとして分子力場を作成します。 ナノ材料 AI・機械学習	気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP 沸騰と凝縮を伴う気液二相流の流動特性や伝熱特性を 3 次元で解析するソフトウェアです。 流体	管路系流体過渡解析ソフトウェア Advance/FrontNet 配管や流体機器から成る管路系内流体に対する 1 次元過渡解析の実用的なソフトウェアです。 流体 GUI 付属
大規模電磁波解析ソフトウェア Advance/ParallelWave マクスウェル方程式を FDTD 法で 3 次元に解く電磁波解析ソフトウェアです。アンテナの電波解析から光の干渉や回折を考慮した光波解析まで幅広く適用できます。 光波・電磁波	構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR 固体の変形や熱伝導を、有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。 構造	大気拡散影響予測システム Advance/Emerg 大気拡散物質の挙動予測と影響評価のためのソフトウェアシステムです。 流体 GUI 付属	深層学習用ツール Advance/iMacle 機械学習のうち、ニューラルネットワークによる深層学習に特化、最小限の機能に絞り込んだ比較的軽いツールです。 AI・機械学習
汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP 解析の一連の流れをスムーズに行う事を実現した汎用プリポストプロセッサです。 プリポスト	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise 環境騒音、機器内の共振等における音場を有限要素法を用いた 3 次元で解析するソフトウェアです。 音響	自社による開発（国プロ含む） 開発チームによる質の高いサポートサービス カスタマイズや機能追加も応相談 並列数無制限（追加料金なし）	

ソフトウェアの解析事例

解析事例Webページをご覧ください。

アドバンスソフト 事例集

検索

<http://case.advancesoft.jp>

- ソフトウェア名からだけでなく、産業分野別、解析分野別の検索が可能となりました。
- 最新の事例を掲載しました。今後も逐次最新事例を紹介します。

産業分野別	解析分野別
自動車・運輸	流体
材料・化学	爆発・燃焼
産業機械	構造
航空宇宙	振動音響
エレクトロニクス	ナノ・バイオ
建設土木	プリポスト
原子力	半導体デバイス
エネルギー	光・電磁波
環境・防災	

facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>



半導体デバイスシミュレーションの 解析事例と当社のソリューション

第1事業部 技術第6部 原田 昌紀

半導体デバイスシミュレーション入門から最新応用まで
～物理モデルの基礎から、Advance/TCADによるAI・電磁波解析との連携まで～

2025年10月22日（水）
アドバンスソフト株式会社

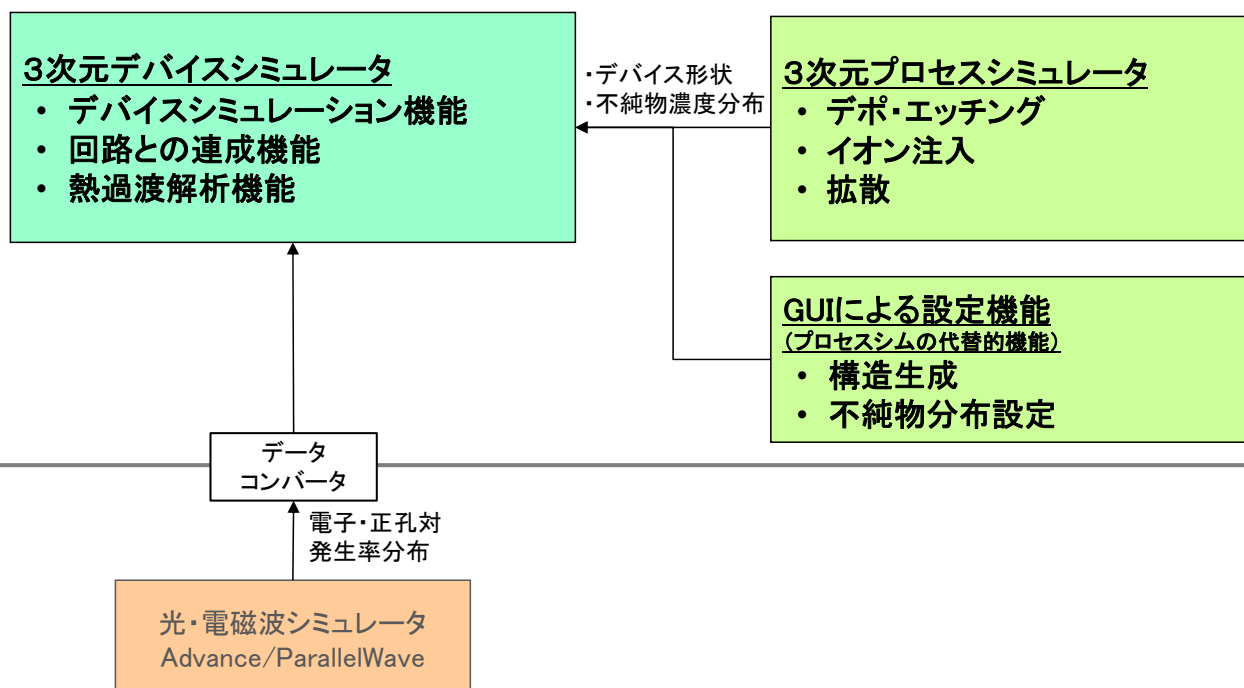
Advance/TCADについて

アドバンスソフトがソースコードレベルから**自社開発**している
国産の3次元TCADシステムです。2011～2015年に科学技術
振興機構の支援プログラム (A-STEP)によりその基本機能を
開発し、現在まで自社開発により機能を追加しています。

超微細半導体デバイスからパワーデバイスまでの解析にお
いて、デバイスシミュレーション、プロセスシミュレーションの
基本機能はもちろん、**光・電磁波との連成解析、複数デバイ
スや外部回路との一括解析、熱解析**等のデバイス開発で必
要とされる各種機能を備えています。

Advance/TCADのシステム構成

Advance/TCAD統合プラットフォーム（GUI）



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

3

3次元デバイスシミュレータ

項目	特徴
使用可能な材質 (※材料定数を変更することで別材質も設定可能。)	半導体: Si, poly-Si, Ge, $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, GaAs, AlAs, $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, 3C-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, GaN, $\text{GaAl}_x\text{N}_{1-x}$, AlN 絶縁体: SiO_2 , Si_3N_4 , Ta 2O_5 , Al_2O_3 , Air 金属: Cu, Al, Ti, Ta, Mo, W, TiN
基本物性のモデル	・誘電率、電子親和力、質量モデル、バンドギャップモデルなど
移動度モデル	・MOS反転層モデル、折れ線近似、指数飽和型、定数型など
生成・再結合モデル	・SRH、Auger、直接再結合、深い準位や界面準位による再結合、二準位間再結合、GIDL、衝突電離など
解析機能	・電子・正孔密度の移流拡散方程式 + ポアソン方程式 ・定常解析、過渡解析機能 ・不純物モデル(浅い準位から深い準位までに対応) ・界面準位モデル(界面再結合、界面電荷を考慮。連続準位の設定が可能)。 ・ヘテロ接合に対応。 ・量子効果補正(Feynmanの実効ポテンシャル、直接トンネリング) ・電極特性(オーミック、ショットキー接合に対応)。 ・光・電磁波解析による電子・正孔対生成率分布の読み込み機能。 ・複数デバイスや外部回路との一括解析機能。 ・熱解析機能

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

- 6 -

4

3次元デバイスシミュレータ

項目	特徴
使用可能な材質 (※材料定数を変更することで別材質も設定可能。)	半導体: Si, poly-Si, Ge, $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, GaAs, AlAs, $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, 3C-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, GaN, $\text{GaAl}_x\text{N}_{1-x}$, AlN 絶縁体: SiO_2 , Si_3N_4 , Ta 2O_5 , Al_2O_3 , Air 金属: Cu, Al, Ti, Ta, Mo, W, TiN
基本物性のモデル	・誘電率、電子親和力、質量モデル、バンドギャップモデルなど
移動度モデル	・MOS反転層モデル、折れ線近似、指数飽和型、定数型など
	・界面準位モデル(界面再結合, 界面電荷を考慮。連続準位の設定が可能)。 ・ヘテロ接合に対応。 ・量子効果補正 (Feynmanの実効ポテンシャル、直接トンネリング) ・電極特性 (オーミック, ショットキー接合に対応)。 ・光・電磁波解析による電子・正孔対生成率分布の読み込み機能。 ・複数デバイスや外部回路との一括解析機能。 ・熱解析機能

- ・ ベースとなる材料を基にユーザーによる任意の物性値の設定が可能。
- ・ ワイドギャップ半導体に対応 (SiC、GaNの物性値を装備)。

3次元デバイスシミュレータ

項目	特徴
使用可能な材質 (※材料定数を変更)	半導体: Si, poly-Si, Ge, $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, GaAs, AlAs, $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, 3C-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, GaN, $\text{GaAl}_x\text{N}_{1-x}$, AlN
	・ 不完全イオン化不純物に対応。 ・ 界面の連続準位に対応。
生成・再結合モデル	・SRH、Auger、直接再結合、深い準位や界面準位による再結合、二準位間再結合、GIDL、衝突電離など
解析機能	・電子・正孔密度の移流拡散方程式 + ポアソン方程式 ・定常解析、過渡解析機能 ・不純物モデル(浅い準位から深い準位までに対応) ・界面準位モデル(界面再結合, 界面電荷を考慮。連続準位の設定が可能)。 ・ヘテロ接合に対応。 ・量子効果補正 (Feynmanの実効ポテンシャル、直接トンネリング) ・電極特性 (オーミック, ショットキー接合に対応)。 ・光・電磁波解析による電子・正孔対生成率分布の読み込み機能。 ・複数デバイスや外部回路との一括解析機能。 ・熱解析機能

3次元デバイスシミュレータ

項目	特徴
使用可能な材質	半導体: Si, poly-Si, Ge, Si _x Ge _{1-x} , GaAs, AlAs, Ga _x Al _{1-x} As, 3C-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, GaN, GaAl _x N _{1-x} , AlN 絶縁体: SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , Ta ₂ O ₅ , Al ₂ O ₃ , Air
解析機能	- 電子・正孔密度の移流拡散方程式 + ポアソン方程式 - 定常解析、過渡解析機能 - 不純物モデル(浅い準位から深い準位までに対応) - 界面準位モデル(界面再結合, 界面電荷を考慮。連続準位の設定が可能)。 - ヘテロ接合に対応。 - 量子効果補正 (Feynmanの実効ポテンシャル、直接トンネリング) - 電極特性(オーミック, ショットキー接合に対応)。 - 光・電磁波解析による電子・正孔対生成率分布の読み込み機能。 - 複数デバイスや外部回路との一括解析機能。 - 熱解析機能

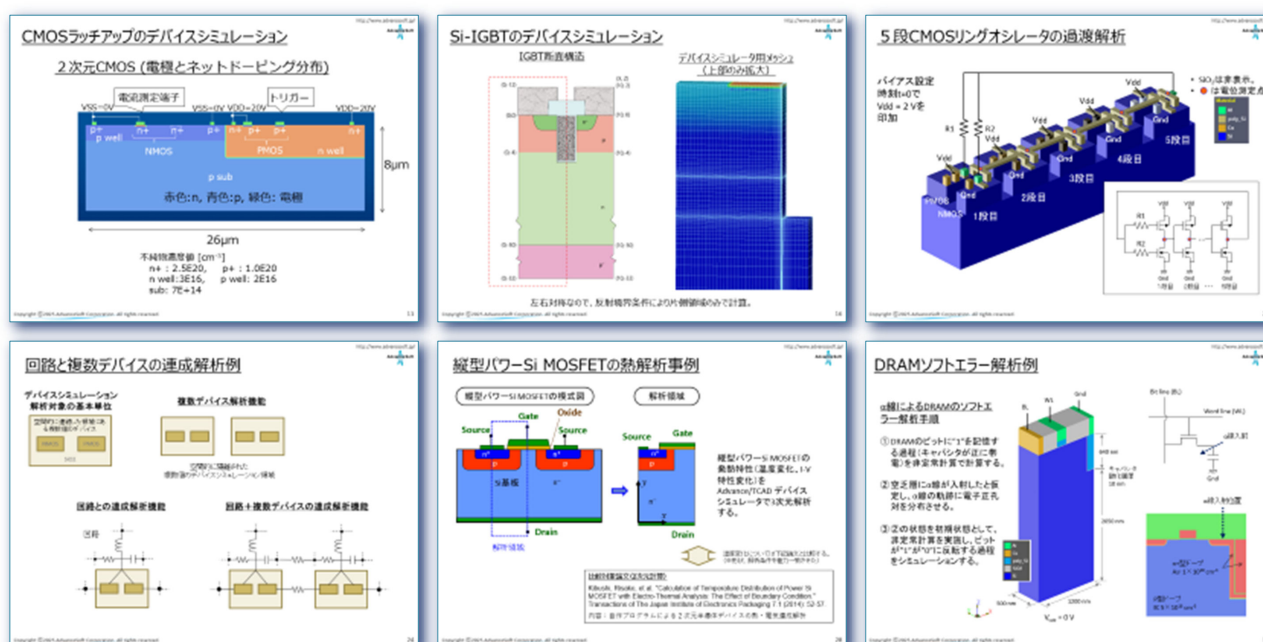
3次元デバイスシミュレータ

項目	特徴
使用可能な材質 (※材料定数を変更することで別材質も)	半導体: Si, poly-Si, Ge, Si _x Ge _{1-x} , GaAs, AlAs, Ga _x Al _{1-x} As, 3C-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, GaN, GaAl _x N _{1-x} , AlN 絶縁体: SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , Ta ₂ O ₅ , Al ₂ O ₃ , Air
解析機能	- 電子・正孔密度の移流拡散方程式 + ポアソン方程式 - 定常解析、過渡解析機能 - 不純物モデル(浅い準位から深い準位までに対応) - 界面準位モデル(界面再結合, 界面電荷を考慮。連続準位の設定が可能)。 - ヘテロ接合に対応。 - 量子効果補正 (Feynmanの実効ポテンシャル、直接トンネリング) - 電極特性(オーミック, ショットキー接合に対応)。 - 光・電磁波解析による電子・正孔対生成率分布の読み込み機能。 - 複数デバイスや外部回路との一括解析機能。 - 熱過渡解析機能。

3次元デバイスシミュレータ

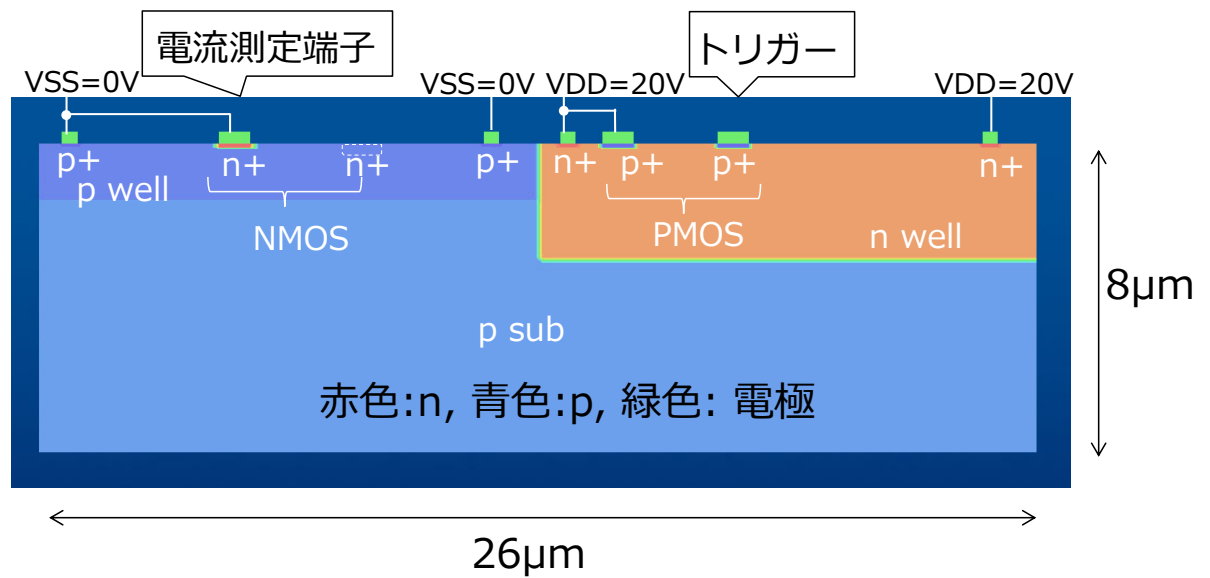
項目	特徴
使用可能な材質 (※材料定数を変更することで別材質も設定可能。)	半導体: Si, poly-Si, Ge, $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, GaAs, AlAs, $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, 3C-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC, GaN, $\text{GaAl}_x\text{N}_{1-x}$, AlN 絶縁体: SiO_2 , Si_3N_4 , Ta 2O_5 , Al 2O_3 , Air 金属: Cu, Al, Ti, Ta, Mo, W, TiN
基本物性のモデル	・誘電率、電子親和力、質量モデル、バンドギャップモデルなど
移動度モデル	・MOS反転層モデル、折れ線近似、指数飽和型、定数型など
生成・再結合モデル	・SRH、Auger、直接再結合、深い準位や界面準位による再結合、二準位間再結合、GIDL、衝突電離など
解析機能	・電子・正孔密度の移流拡散方程式 + ポアソン方程式 ・定常解析、過渡解析機能 ・不純物モデル(浅い準位から深い準位までに対応) ・界面準位モデル(界面再結合、界面電荷を考慮。連続準位の設定が可能)。 ・ヘテロ接合に対応。 ・量子効果補正 (Feynmanの実効ポテンシャル、直接トンネリング) ・電極特性(オーミック、ショットキー接合に対応)。 ・光・電磁波解析による電子・正孔対生成率分布の読み込み機能。 ・複数デバイスや外部回路との一括解析機能。 ・熱解析機能

デバイスシミュレーション解析事例



CMOSラッチアップのデバイスシミュレーション

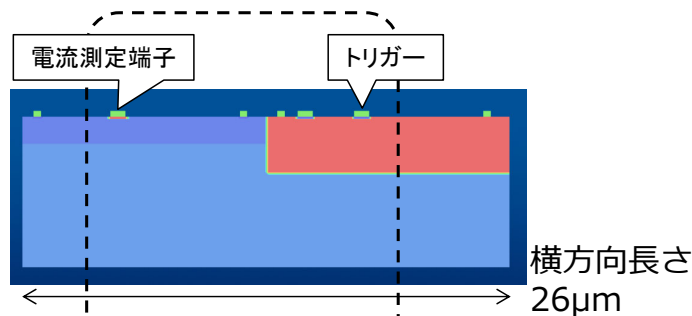
2次元CMOS (電極とネットドーピング分布)



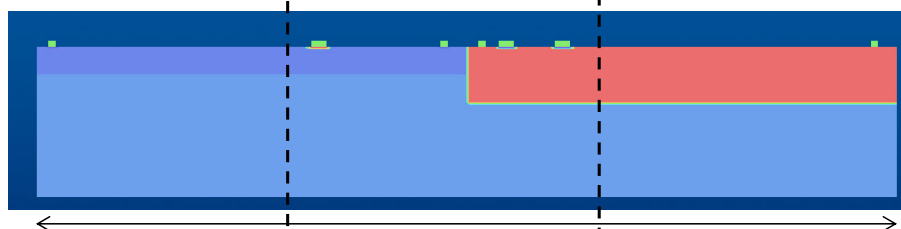
不純物濃度値 [cm^{-3}]
 n+ : $2.5\text{E}20$, p+ : $1.0\text{E}20$
 n well: $3\text{E}16$, p well: $2\text{E}16$
 sub: $7\text{E}14$

CMOSラッチアップのデバイスシミュレーション

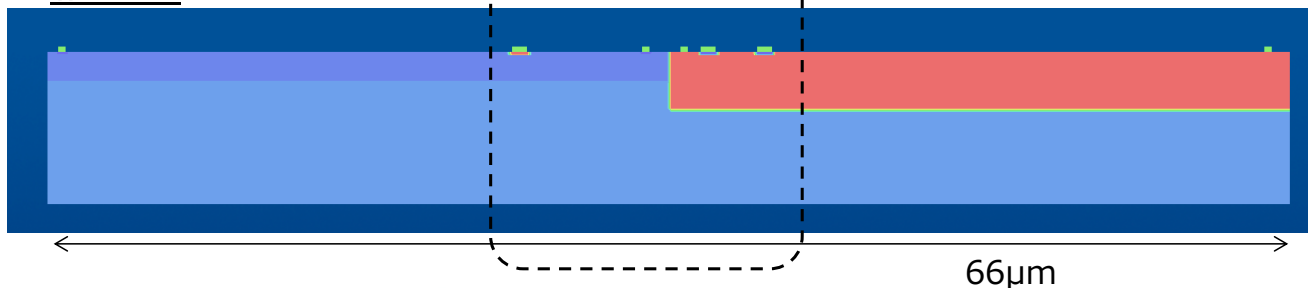
構造A



構造B



構造C

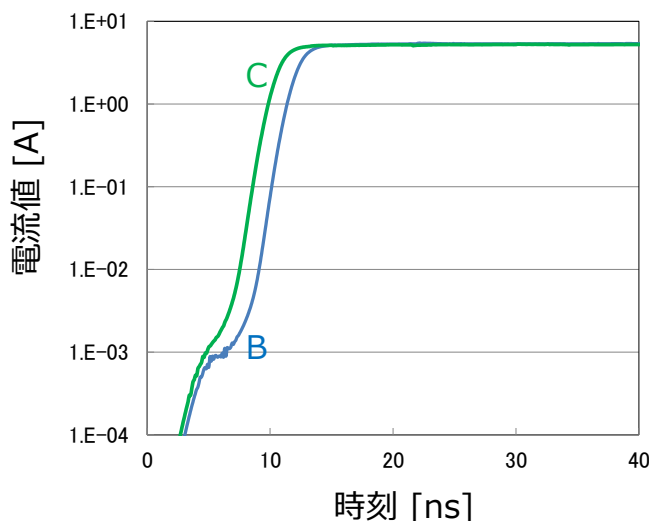
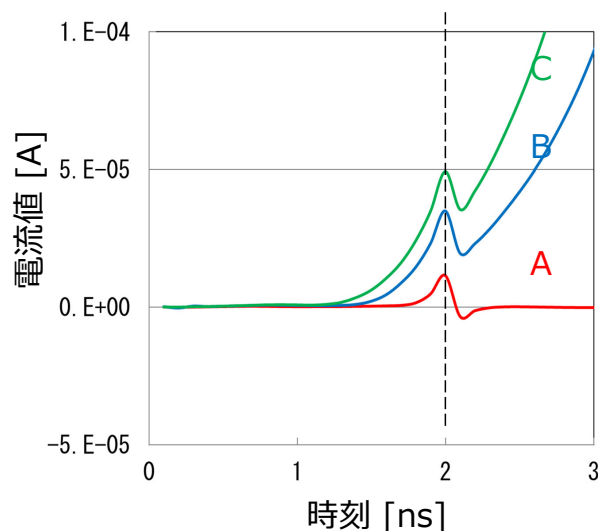


抵抗大
↓
抵抗小

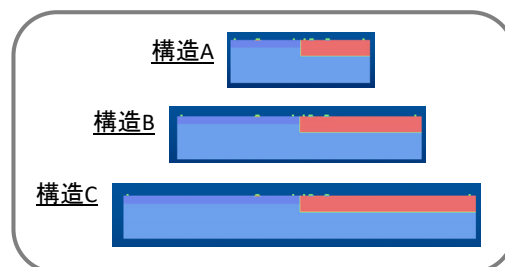
※点線内同じ構造

CMOSラッチアップのデバイスシミュレーション

電流値時間変化（左：線形表示、右：対数表示）

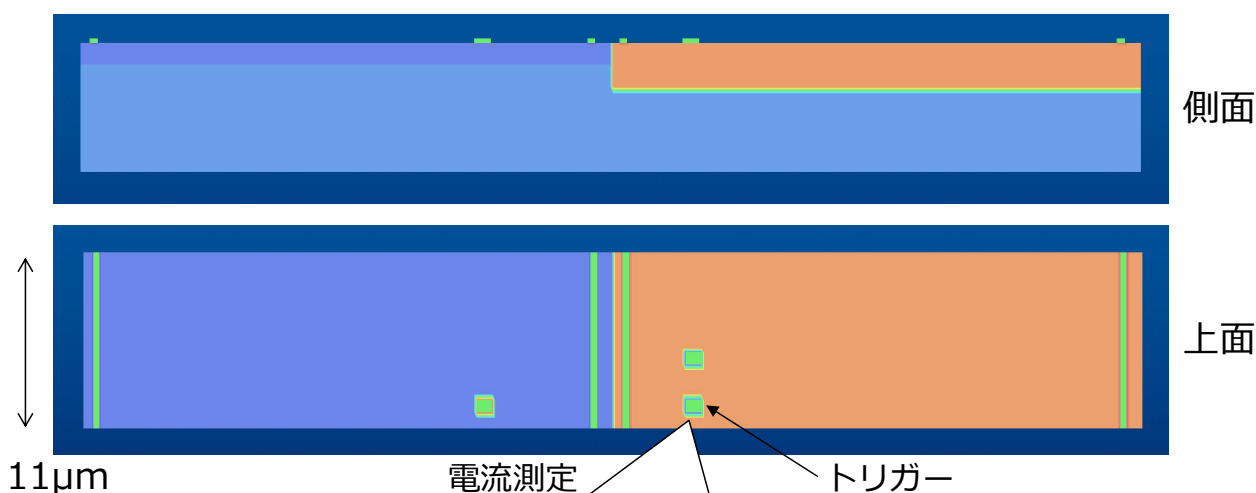


構造BとCでPNPN接合がONして電流が流れ続けた（ラッチアップ発生）。



CMOSラッチアップのデバイスシミュレーション

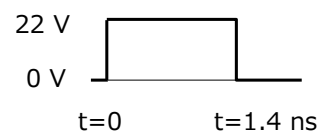
3次元CMOS(例:構造C)



トリガーのバイアス条件

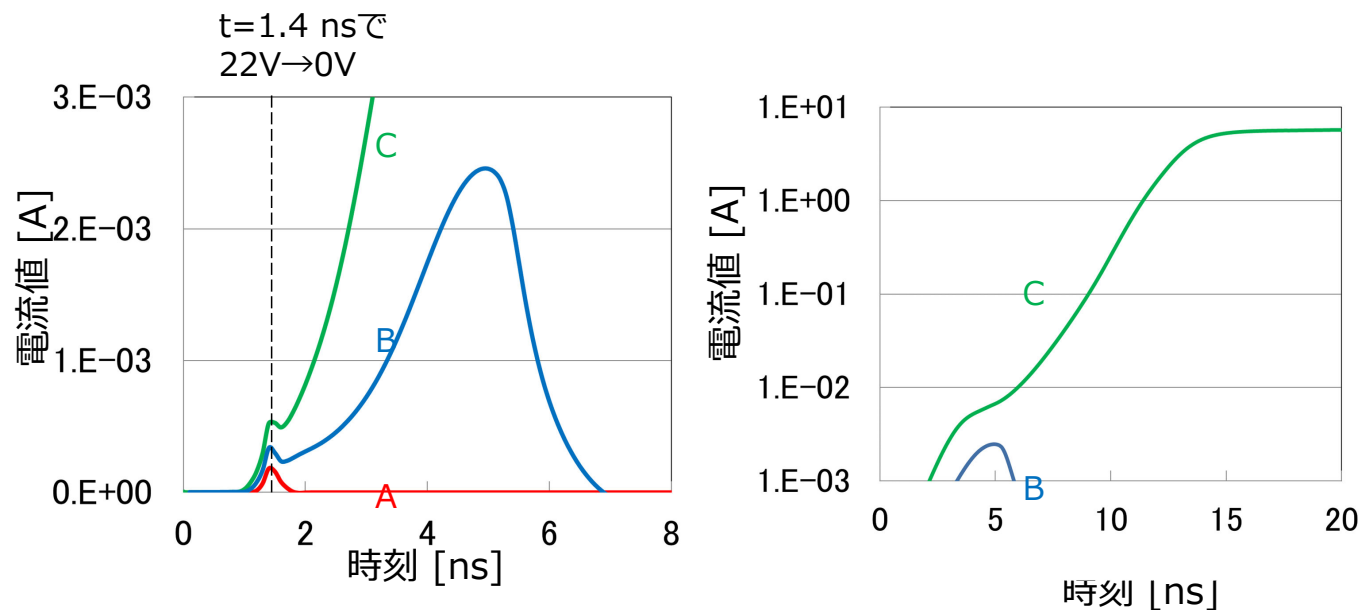
$t = 0 \text{ ns}$ $0\text{V} \rightarrow 22 \text{ V}$
(過渡計算)

$t = 1.4 \text{ ns}$ $22\text{V} \rightarrow 0\text{V}$
(過渡計算)



CMOSラッチアップのデバイスシミュレーション

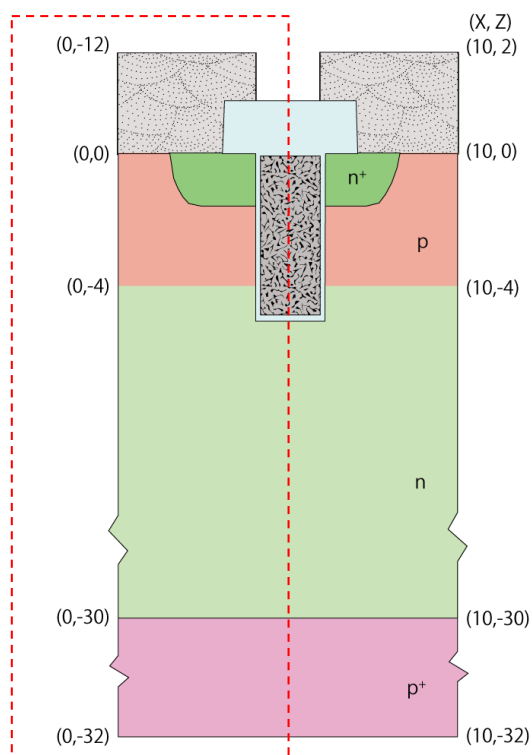
電流値時間変化（左：線形表示、右：対数表示）



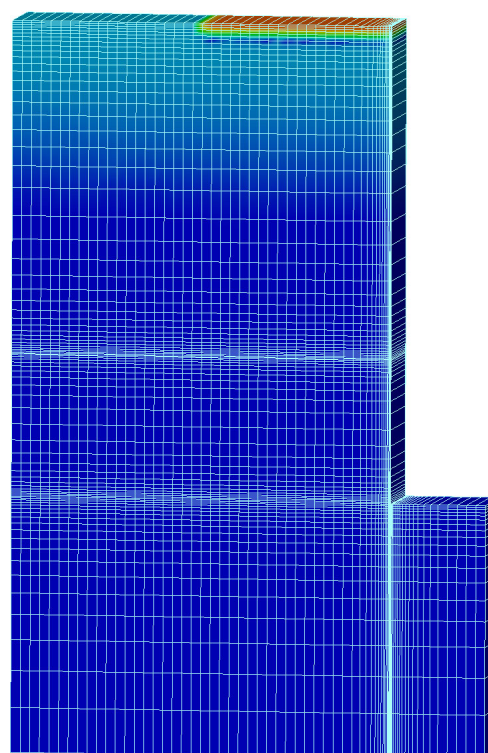
- 構造Cでのみラッチアップが発生。
- 構造Bでは、2次元の計算と異なりラッチアップは発生しなかった。

Si-IGBTのデバイスシミュレーション

IGBT断面構造



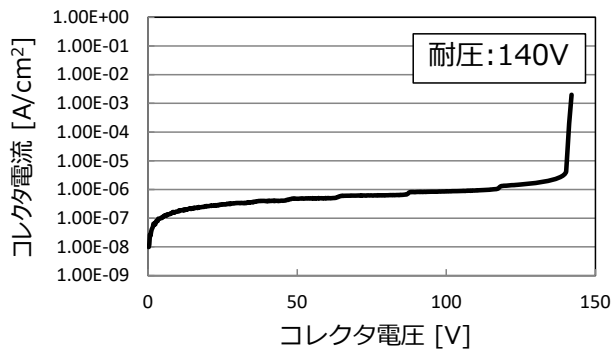
デバイスシミュレータ用メッシュ
(上部のみ拡大)



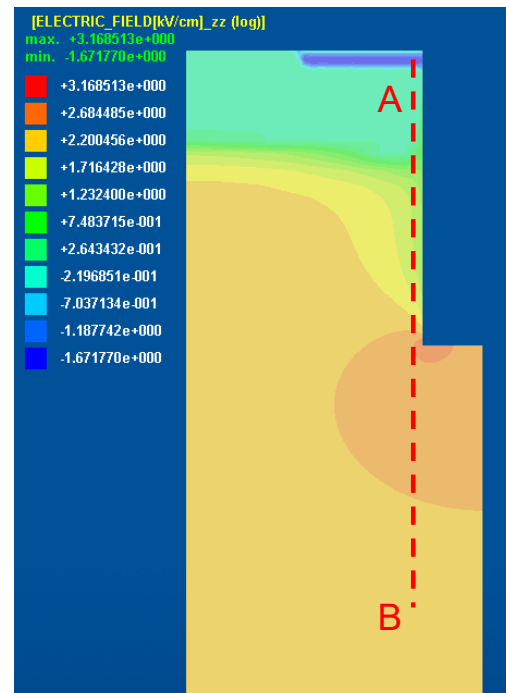
左右対称なので、反射境界条件により片側領域のみで計算。

Si-IGBTのデバイスシミュレーション

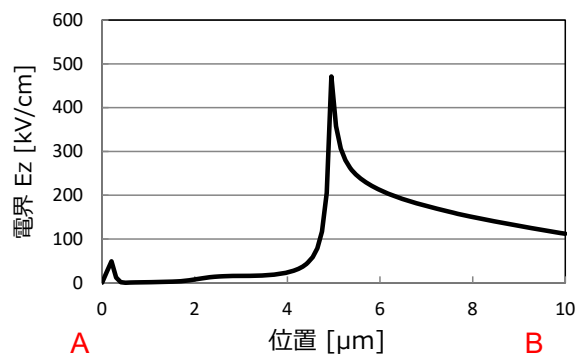
Si-IGBT耐圧計算結果



コレクタ電圧140Vのときの深さ方向電界分布



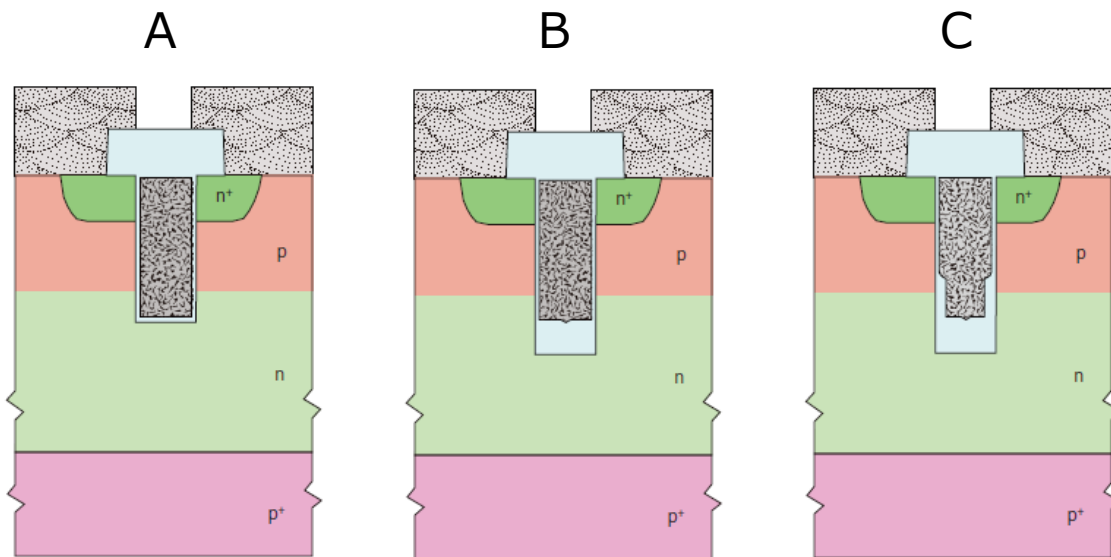
深さ方向電界（絶対値）分布



Si-IGBTのデバイスシミュレーション

Si-IGBT耐圧のトレンチゲート構造依存性調査

トレンチゲート電界が緩和されると予想



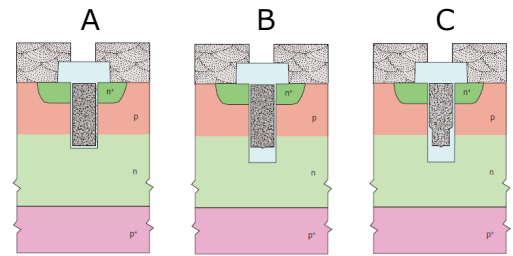
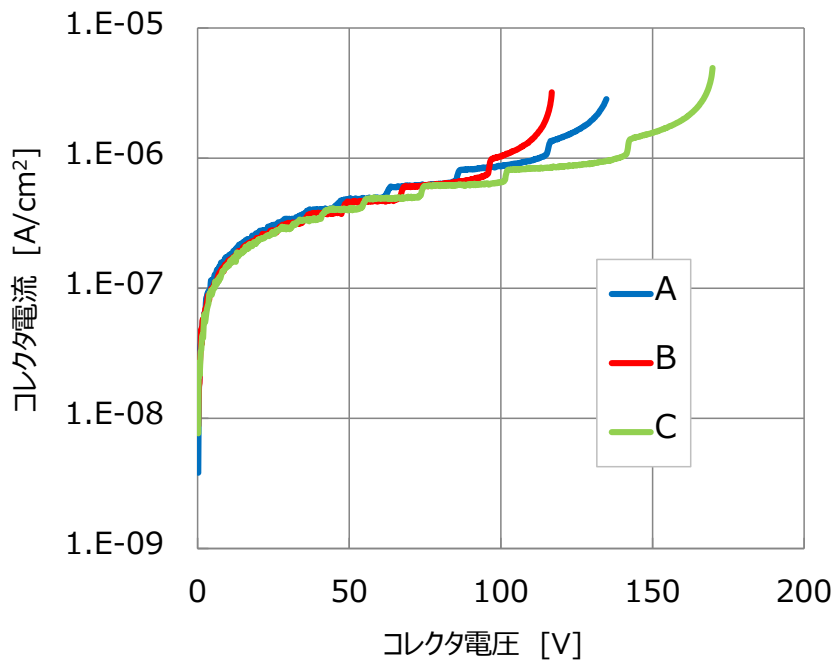
※トレンチを深くした。

※トレンチを深くし、ポリシリコンに段差を設けた。

Si-IGBTのデバイスシミュレーション

Si-IGBT耐圧のトレンチゲート構造依存性調査

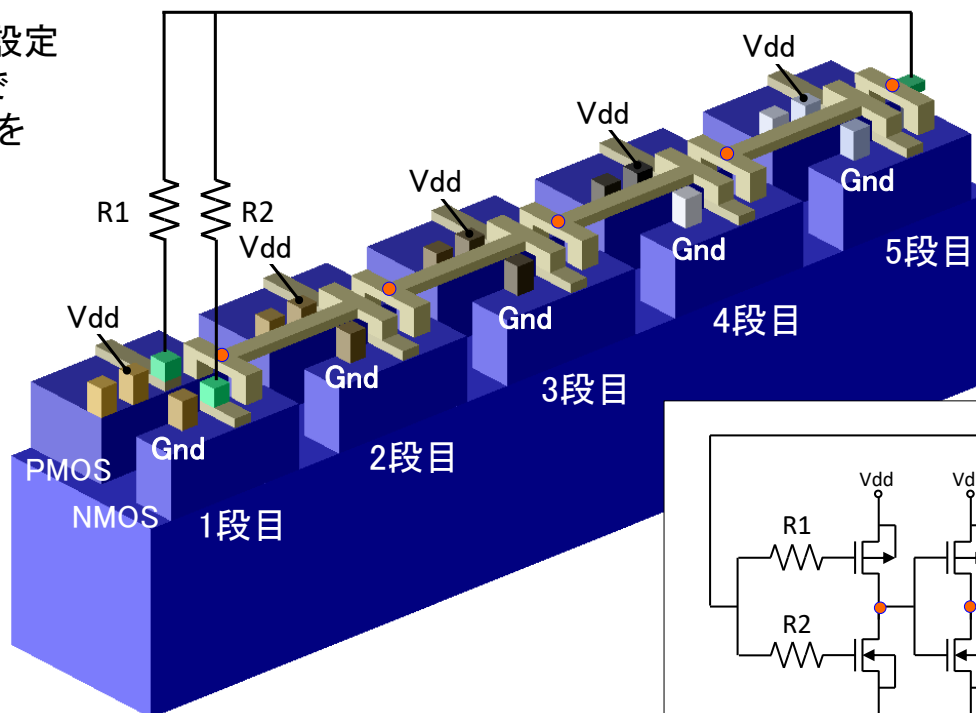
耐圧計算結果



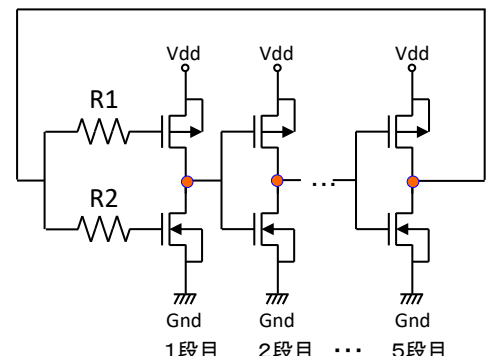
- 構造Cは構造Aよりも耐圧向上した。
- 構造Bは構造Aよりも耐圧が悪化した。

5 段CMOSリングオシレータの過渡解析

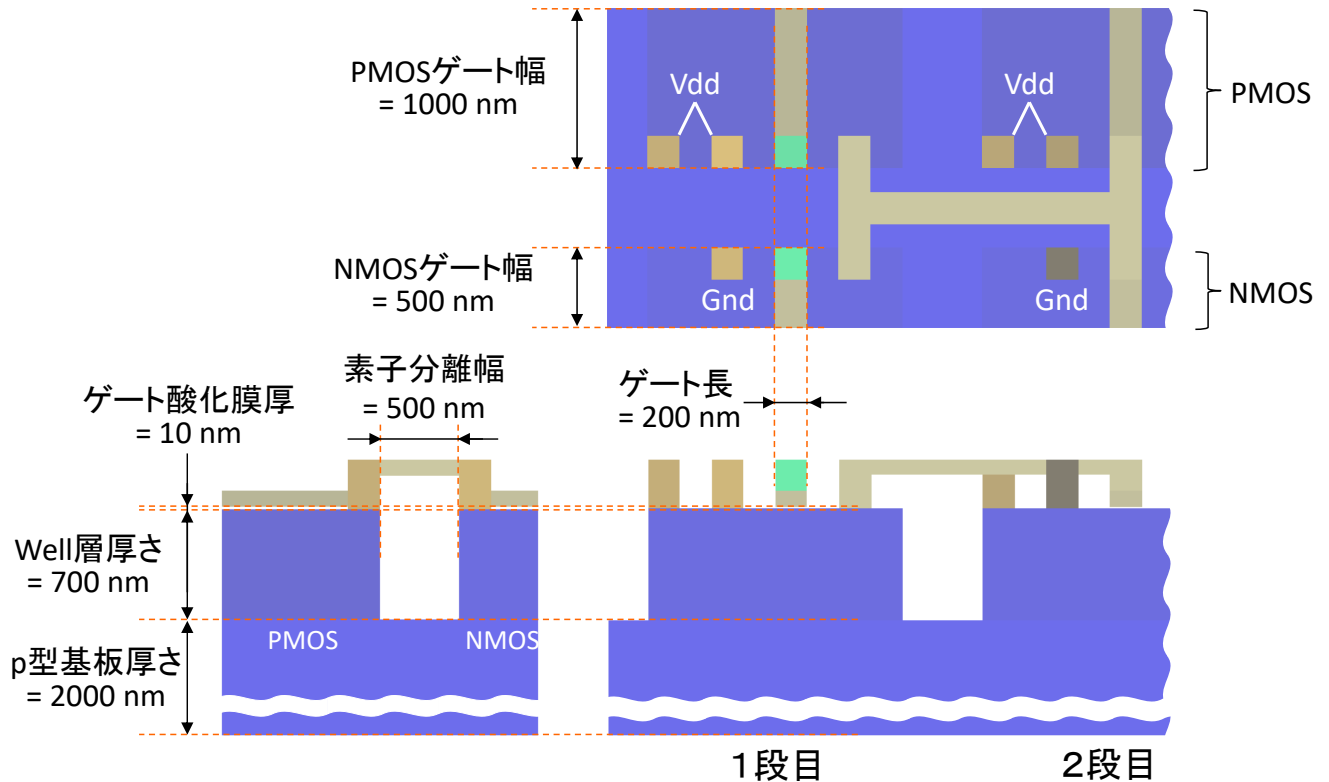
バイアス設定
時刻 $t=0$ で
 $V_{dd} = 2\text{ V}$ を
印加



- SiO₂は非表示。
- ● は電位測定点



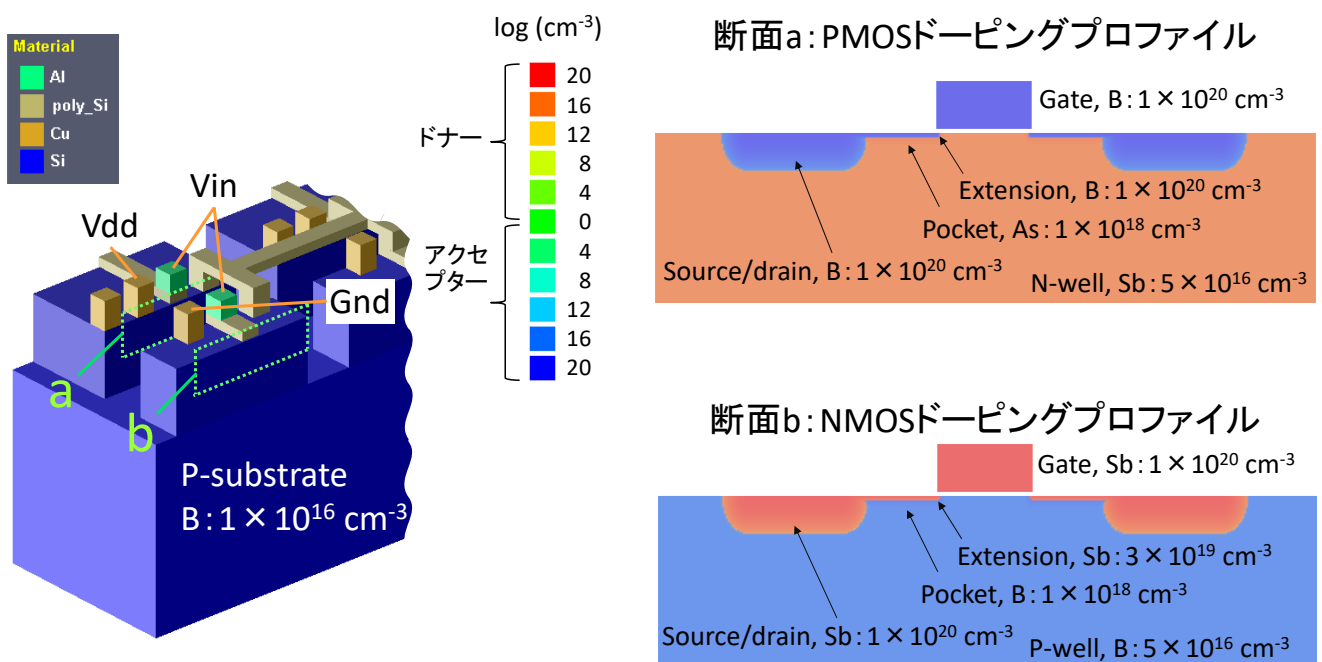
5 段CMOSリングオシレータの過渡解析



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

21

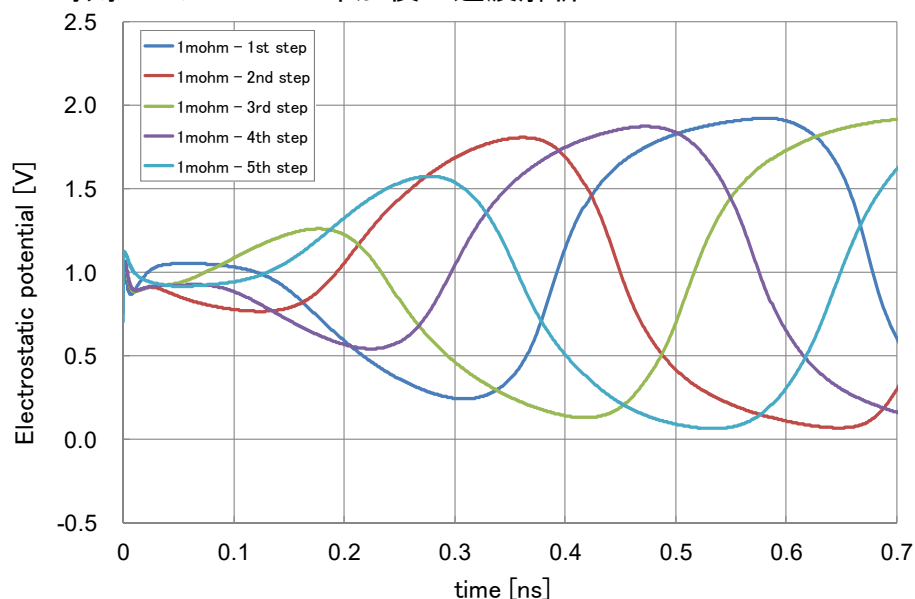
5 段CMOSリングオシレータの過渡解析



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

5 段CMOSリングオシレータの過渡解析

時刻 $t=0$ で $V_{dd}=2V$ に印加後の過渡解析

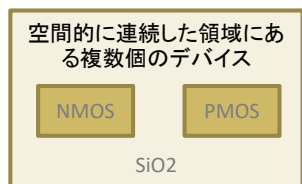


※静電ポテンシャルはゼロバイアス時の値からの相対値

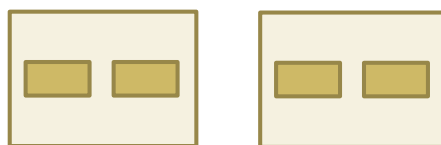
複数段CMOSリングオシレータの一括解析が可能。

回路と複数デバイスの連成解析例

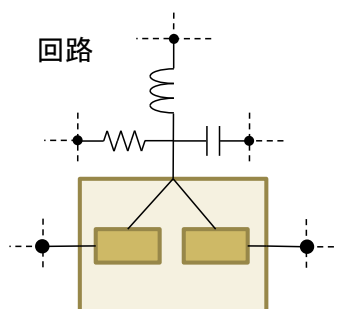
デバイスシミュレーション
解析対象の基本単位



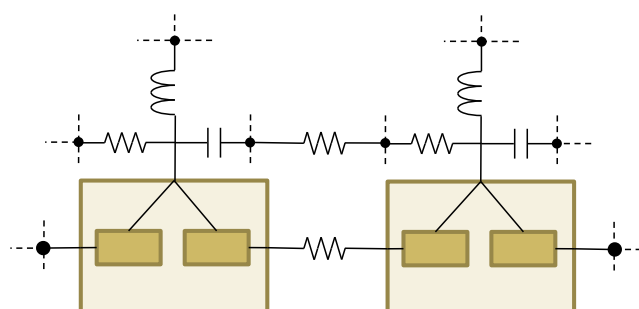
複数デバイス解析機能



回路との連成解析機能

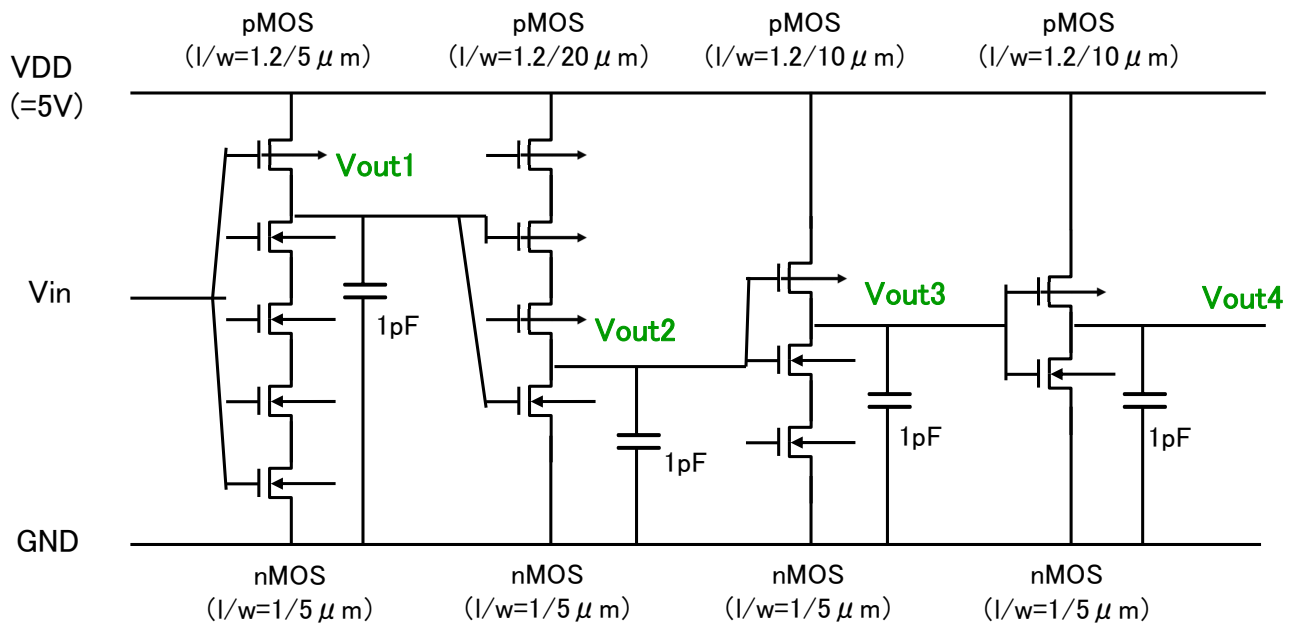


回路+複数デバイスの連成解析機能



回路と複数デバイスの連成解析例

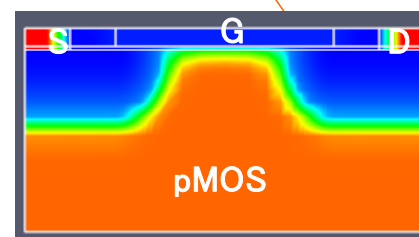
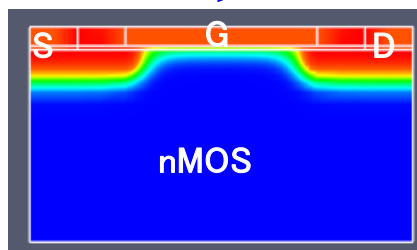
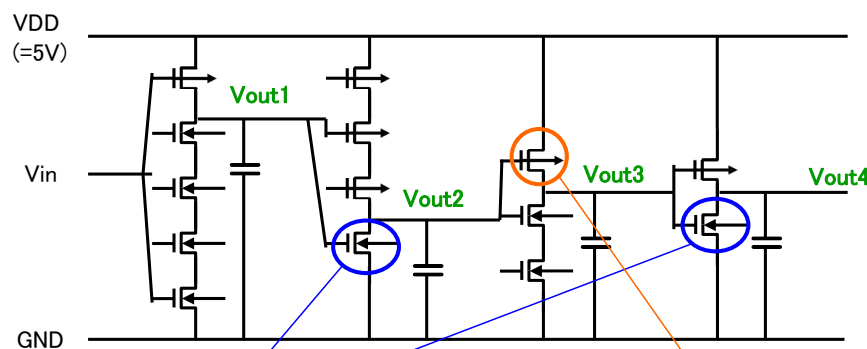
解析対象回路:4段CMOSインバータ (※spice3f5 に内包のモデルから抜粋)



nMOS共通: $T_{ox} = 19.8\text{nm}$, $V_{th} = 0.69486\text{V}$
 pMOS共通: $T_{ox} = 19.8\text{nm}$, $V_{th} = -0.60865\text{V}$

回路と複数デバイスの連成解析例

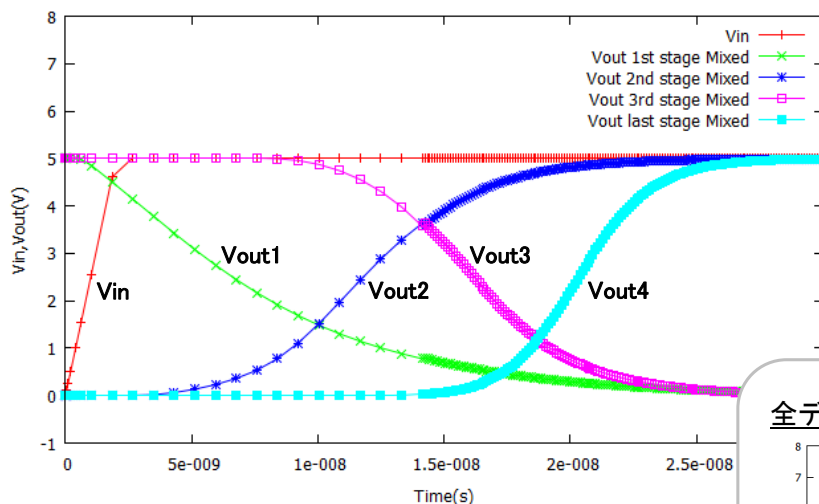
バイアス条件:
 時刻0~2nsの間に V_{in} を GND から $V_{DD}(=5\text{V})$ に
 時間に比例して
 上げる。



2、4段目のnMOSと3段目のpMOSをデバイスシミュレーションモデルとして置き換え、それ以外を回路モデルのまま連成解析を実施。

回路と複数デバイスの連成解析例

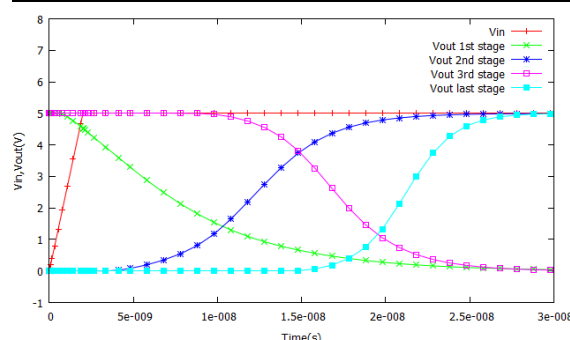
2、4段目nMOSと3段目pMOSを デバイスシミュレーションモデルとした場合の計算結果



バイアス条件:
時刻0~2nsの間にVinをGND
からVDD(=5V)に時間に比
例して上げる。

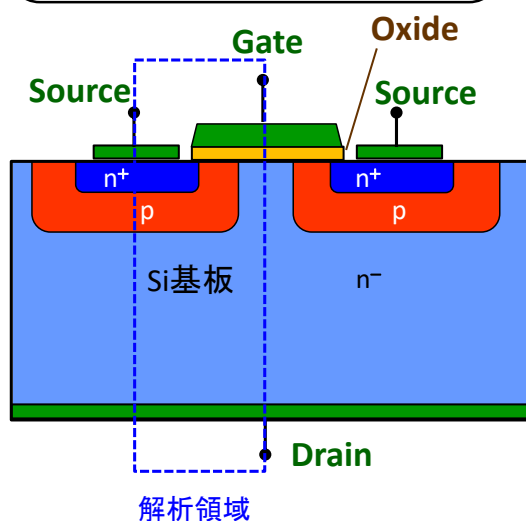
- インバータ動作を再現した。
- 回路モデルのみを使用した結果とも一致した。

全デバイスを回路モデルとした場合の計算結果

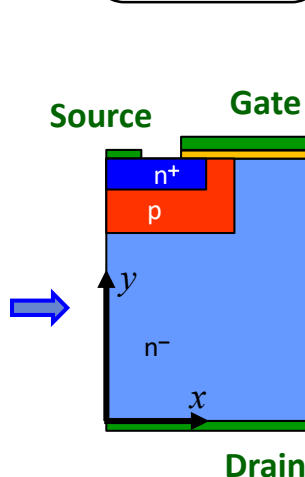


縦型パワーSi MOSFETの熱解析事例

縦型パワーSi MOSFETの模式図



解析領域



縦型パワーSi MOSFETの
発熱特性(温度変化、I-V
特性変化)を
Advance/TCAD デバイス
シミュレータで3次元解析
する。



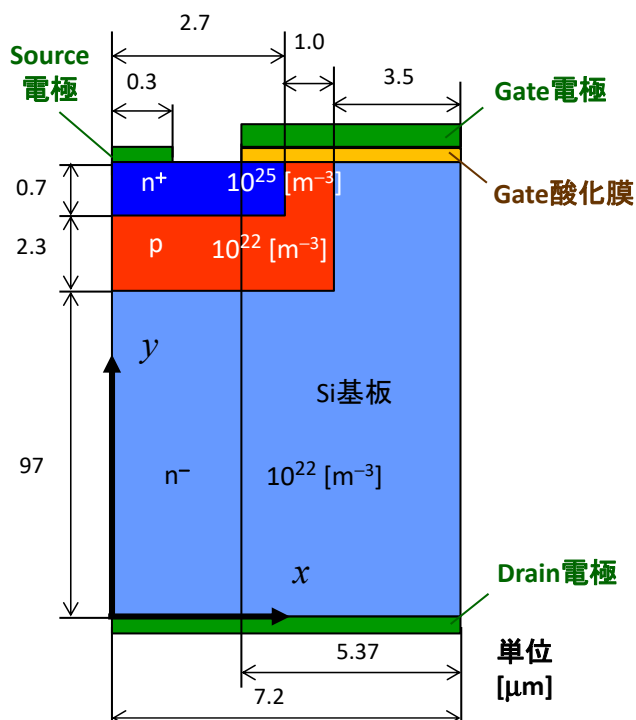
温度変化については下記論文と比較する。
(※形状、解析条件を極力一致させた)

比較対象論文(2次元計算)

Kibushi, Risako, et al. "Calculation of Temperature Distribution of Power Si MOSFET with Electro-Thermal Analysis: The Effect of Boundary Condition." Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging 7.1 (2014): 52-57.
内容：自作プログラムによる2次元半導体デバイスの熱・電気連成解析

縦型パワーSi MOSFETの熱解析事例

デバイスシミュレーション形状、不純物設定、解析条件



- 電極電圧 Gate電極 V_G 20 [V]
Drain電極 V_D 5~15 [V]
Source電極 V_S 0 [V]

- 格子の熱伝導率の温度依存性(冪乗則)

$$\kappa_L = 154.86 \times \left(\frac{T_L}{300} \right)^{-4/3} \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$$

- Drain電極(底面)の境界条件:

$$\text{熱抵抗条件: } q_b = h_t (T_L - T_{\text{outer}})$$

$$\text{熱伝達率 } h_t = 10^5 \sim 10^8 \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

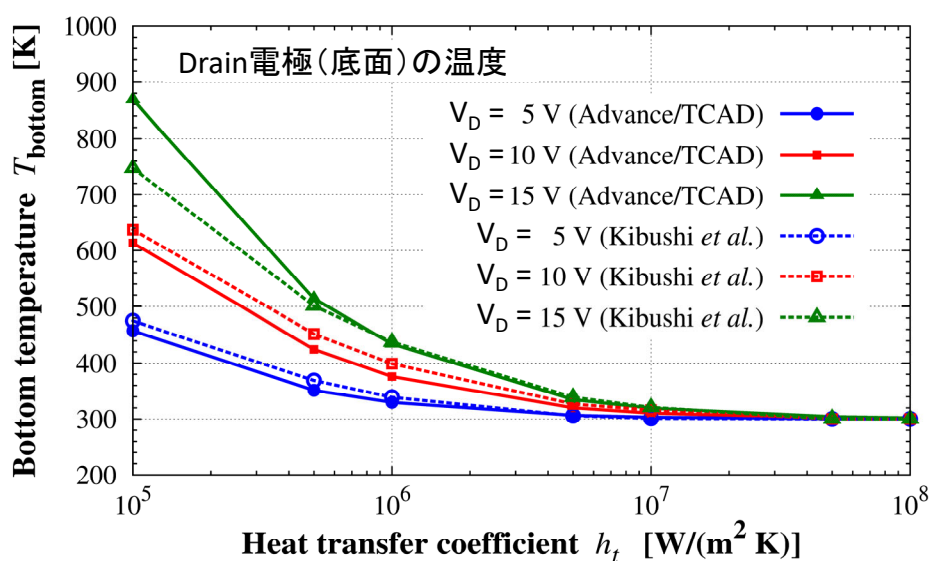
$$\text{外気温度 } T_{\text{outer}} = 300[\text{K}]$$

(※ 他の面の境界条件は、断熱条件)

縦型パワーSi MOSFETの熱解析事例

デバイス底面温度のドレイン電圧および熱伝達率依存性

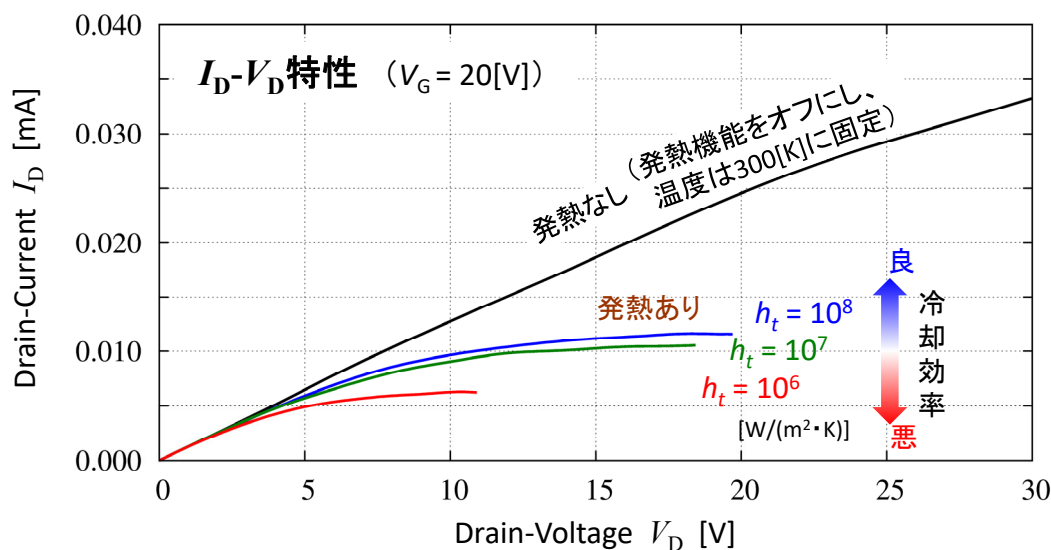
(※点線は論文の計算結果)



- ドレイン電圧の増加に伴い、温度が上昇する。
- 熱伝達率の低下に伴い、温度が上昇する。

縦型パワーSi MOSFETの熱解析事例

電流－電圧(I_D - V_D)特性の熱伝達率依存性

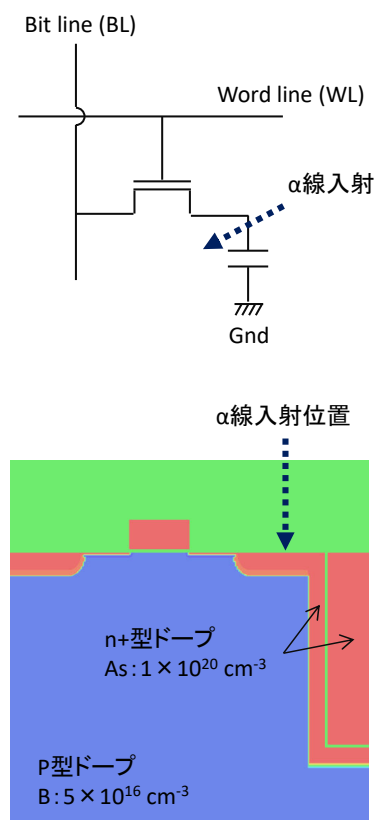
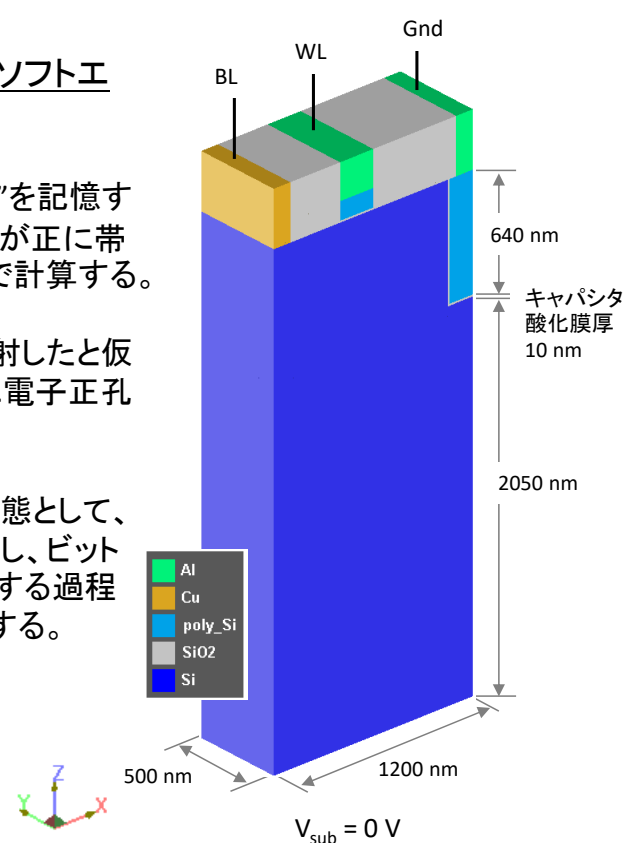


- V_D が2V以下の定電流領域では、“発熱なし”と“発熱あり”で、 I_D - V_D 特性は、ほぼ一致。
- V_D が2V以上では、“発熱あり”の場合に熱伝達率 h_t が小さくなると、電流値が低下する。

DRAMソフトウェア解析例

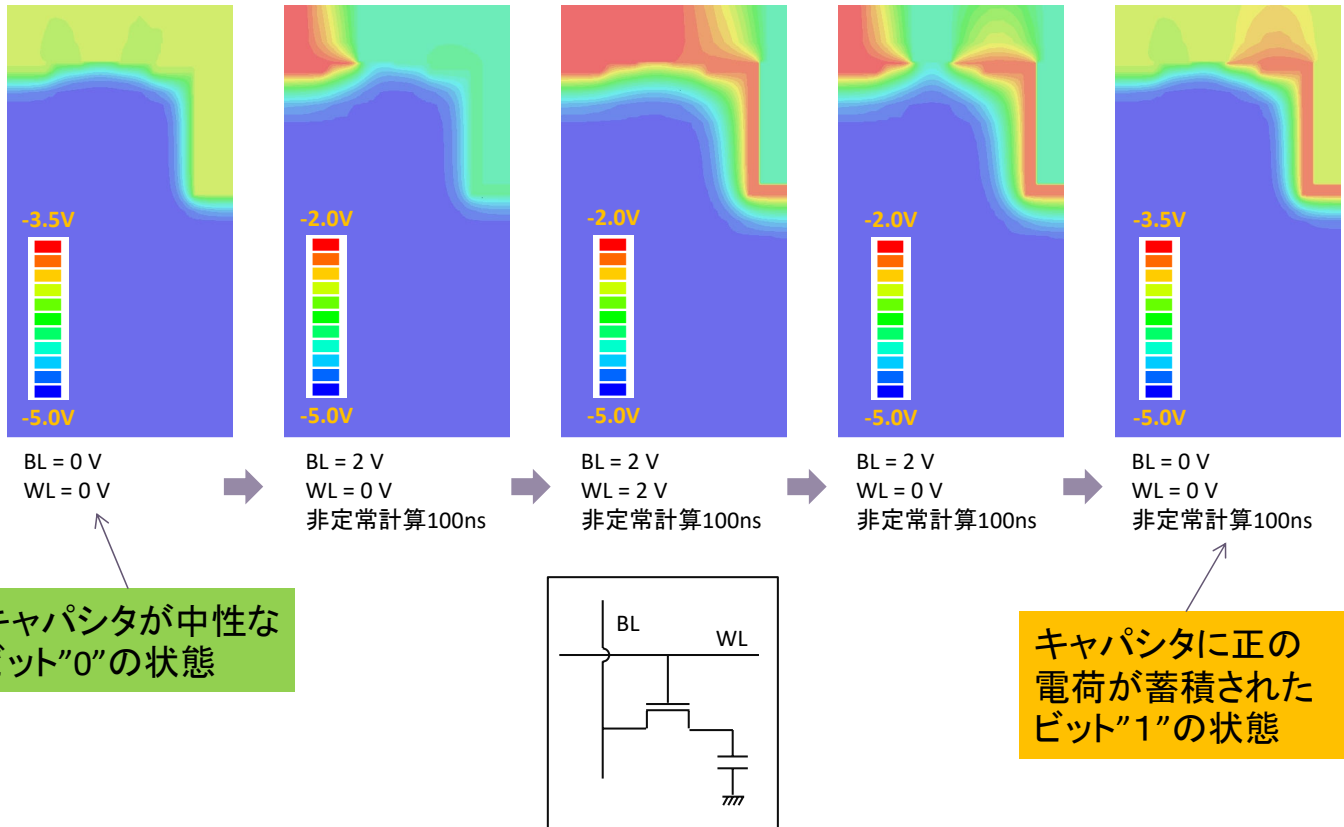
α 線によるDRAMのソフトウェア解析手順

- ① DRAMのビットに“1”を記憶する過程(キャパシタが正に帯電)を非定常計算で計算する。
- ② 空乏層に α 線が入射したと仮定し、 α 線の軌跡に電子正孔対を分布させる。
- ③ ②の状態を初期状態として、非定常計算を実施し、ビットが“1”が“0”に反転する過程をシミュレーションする。



DRAMソフトウェア解析例

ステップ①:ビットへの”1”の書き込み時(静電ポテンシャル分布)



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

33

DRAMソフトウェア解析例

ステップ②:α線の軌跡に電子正孔対を分布させる

α線による電子正孔対発生量の概算

α線のエネルギー: 1~10MeV程度。保護膜を通過して0.1MeVまでエネルギーが減衰したα線がSi表面に到達すると仮定する。

0.1MeVのα線に対するSiの電子的阻止能※
: 2.094×10^3 (MeV/cm)

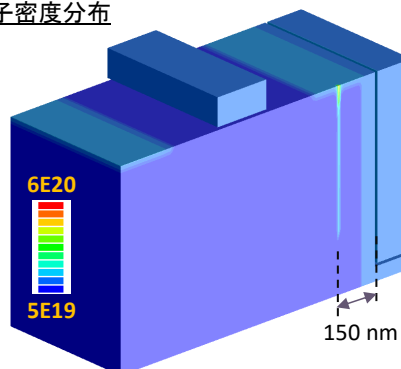
・侵入深さ : 0.478 μm
・電子正孔対の発生量を生成エネルギー3.6eVから計算
: $0.582 \times 10^9 \text{ cm}^{-1}$

およそ28000個の電子正孔対が発生。

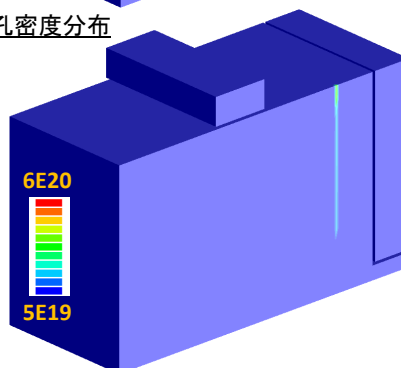
※<http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ASTAR.html>

28000個の電子正孔対を、10nm × 10nm × 478nmの領域に、近似的に均一に分布させる。

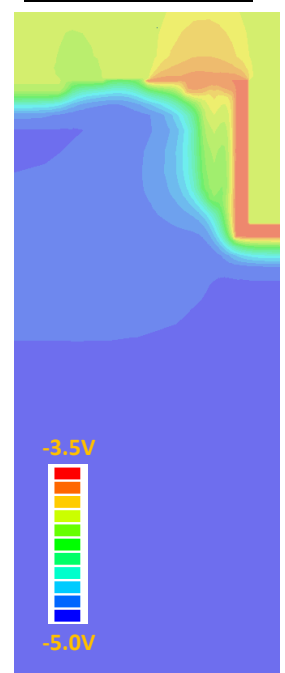
電子密度分布



正孔密度分布



入射直後(0.1ps)の静電ポテンシャル分布



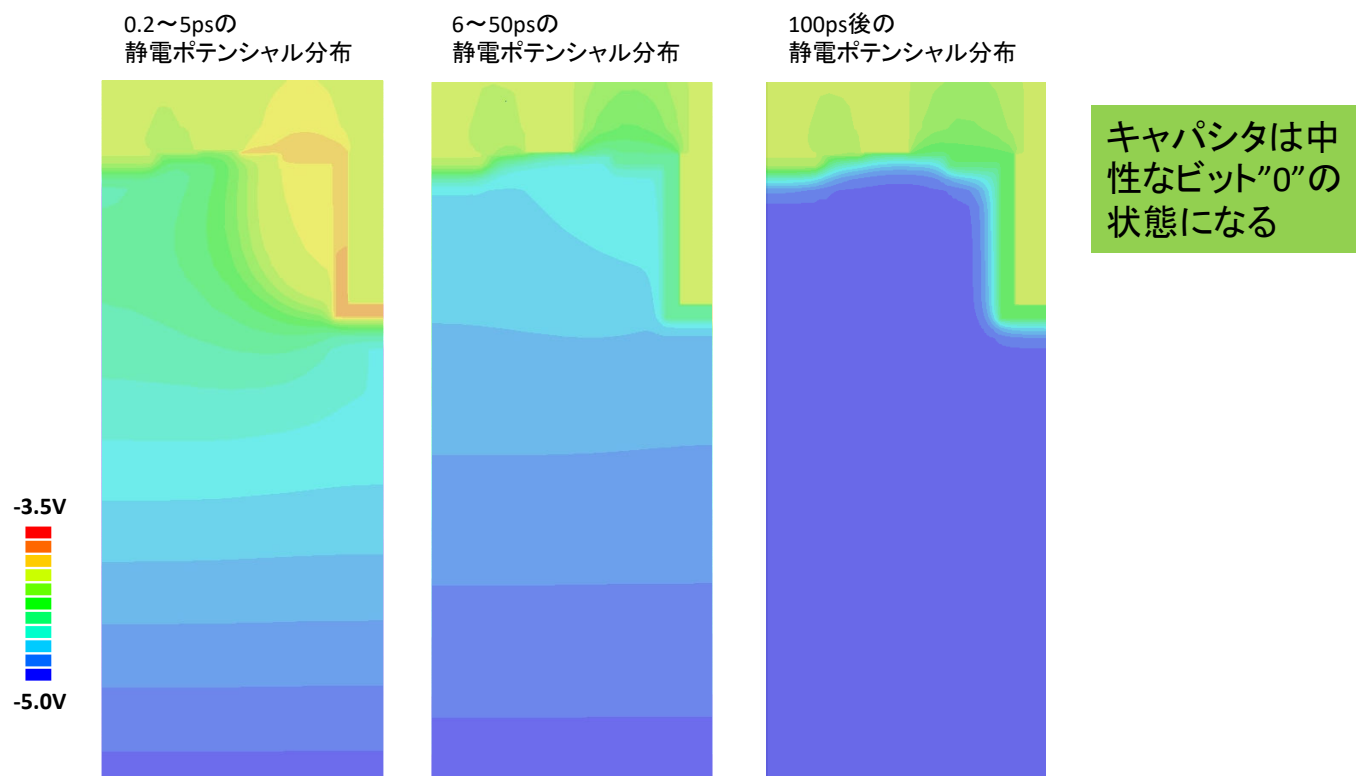
Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

- 21 -

34

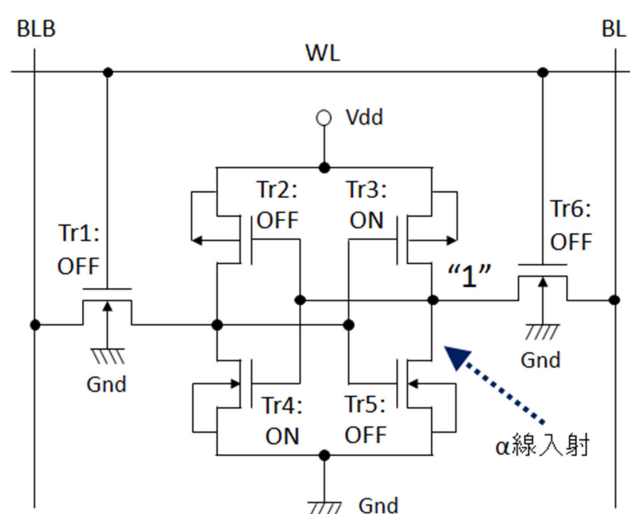
DRAMソフトウェア解析例

ステップ③: α 線入射後0~100psの非定常計算



SRAMソフトウェア解析例

SRAMソフトウェアの原理



※各トランジスタのON、OFFはアルファ線入射前の初期状態を表す。

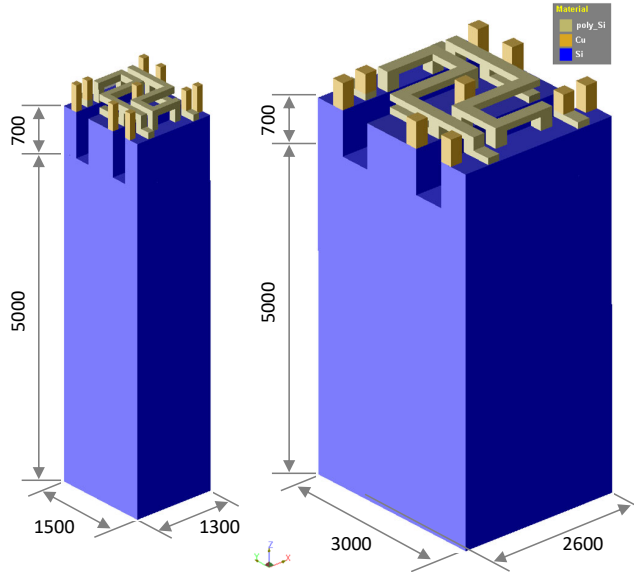
- ① SRAMのインバータ出力部の拡散層付近に α 線が入射し、電子・正孔対が発生する。
- ② pnジャンクション近傍で発生した電子と正孔は、ドリフト・拡散により、それぞれn型とp型領域に移動する。
- ③ インバータの出力部に移動してくる電子や正孔による電位でビットが反転した場合、ソフトウェアエラーとなる。図ではビット"1"が"0"に反転する。

SRAMソフトウェア解析例

SRAM解析モデル(構造2種類)

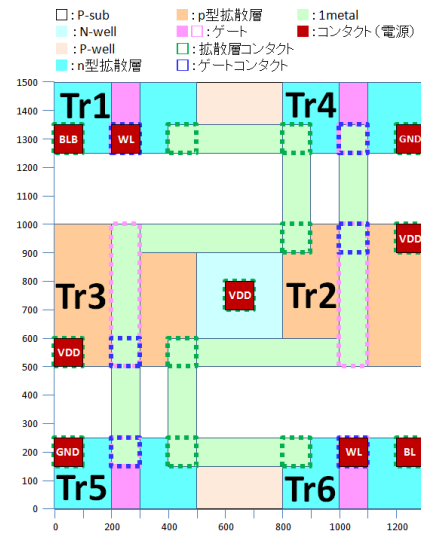
ゲート長L=100nm

ゲート長L=200nm



L=100nmモデルのレイアウト

(※L=200nmモデルは寸法が2倍)

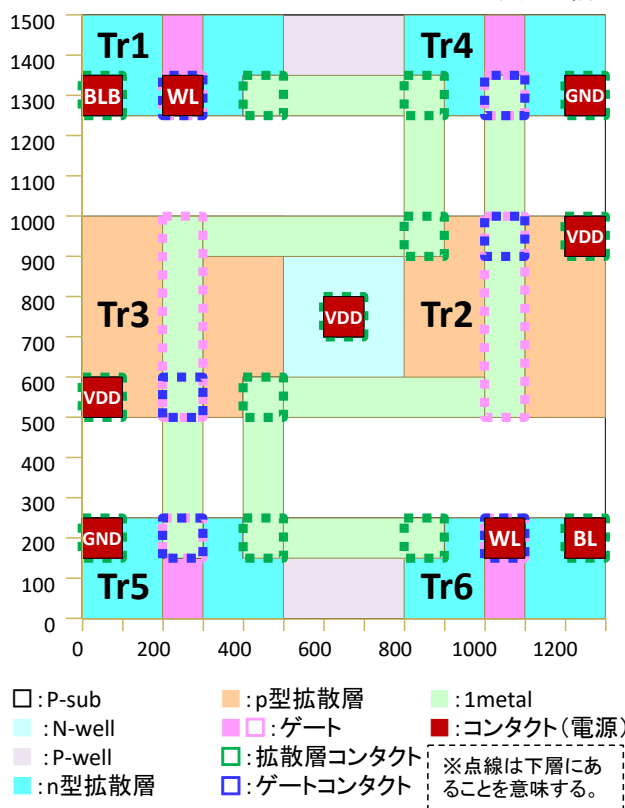


- 6個のトランジスタと2本の配線を1つのデバイスシミュレーションモデルとして作成した。
- L=100nmとL=200nmのゲート酸化膜厚は、それぞれ5nmと10nmとした。
- L=100nmのモデルの基板、p-well、n-wellの不純物濃度はL=200nmのモデルの2倍に設定した。

SRAMソフトウェア解析例

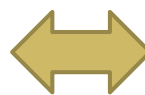
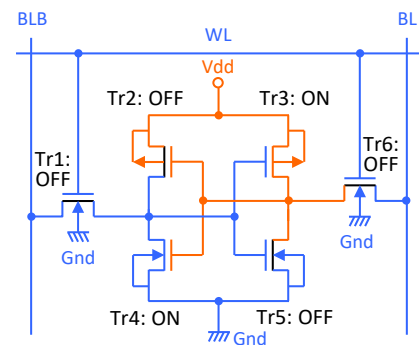
L=100nmモデルのレイアウト

※L=200nmモデルは寸法が2倍

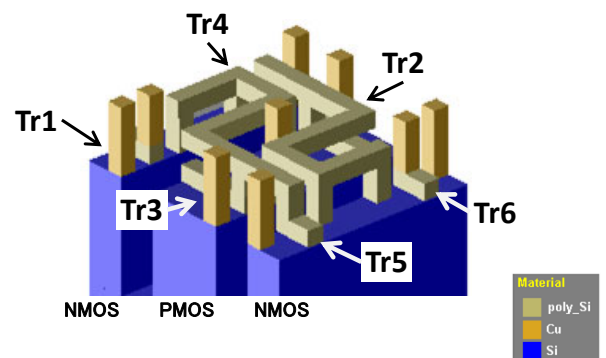


回路図におけるトランジスタ番号

(※ビット“1”の状態)

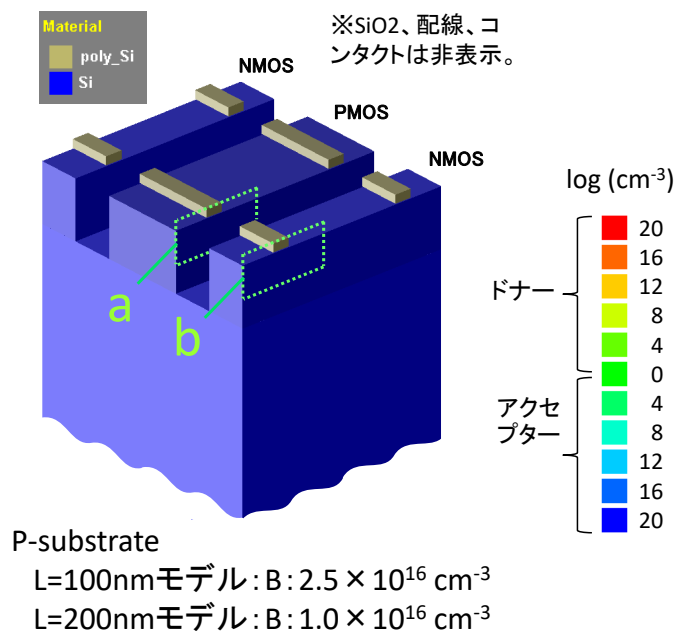
トランジスタ
番号の対応

解析モデルにおけるトランジスタ番号

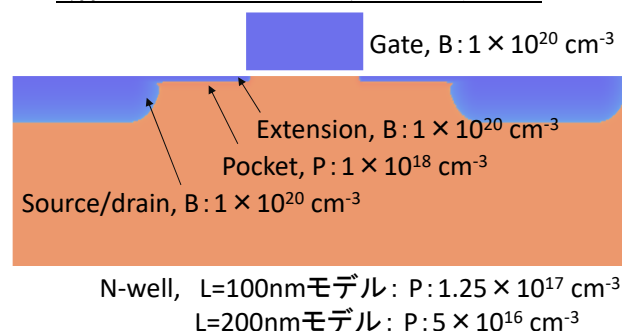


SRAMソフトウェア解析例

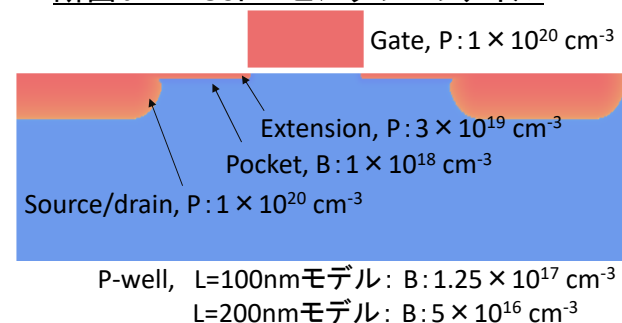
(※表示形状はL=200nmモデル)



断面a: PMOSドーピングプロファイル



断面b: NMOSドーピングプロファイル



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

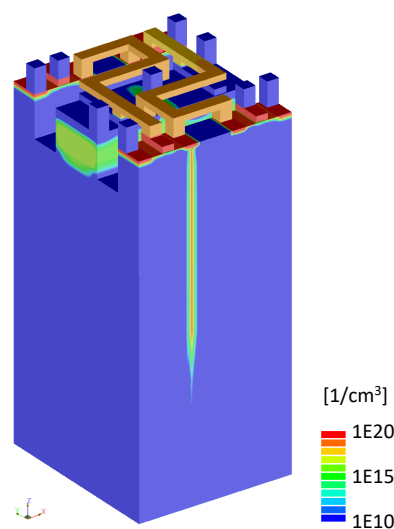
SRAMソフトウェア解析例

α線入射条件

解析条件	解析モデル	α線の入射エネルギー[MeV]
1	L=100nm	0.057
2		0.696
3	L=200nm	0.696
4		0.865

- α線がTr5のドレイン側拡散層に真上から入射したと仮定し、入射エネルギーに応じて電子・正孔対を配置した。
- 一对の電子・正孔対を発生させるのに3.6eVが必要であるとして発生個数を概算した。
- Siの電子的阻止能を $2.094 \times 10^3 \text{ (MeV/cm)}$ として、α線の侵入深さを概算した。

α線入射直後の電子密度分布
(L=200nm, E=0.696MeV)

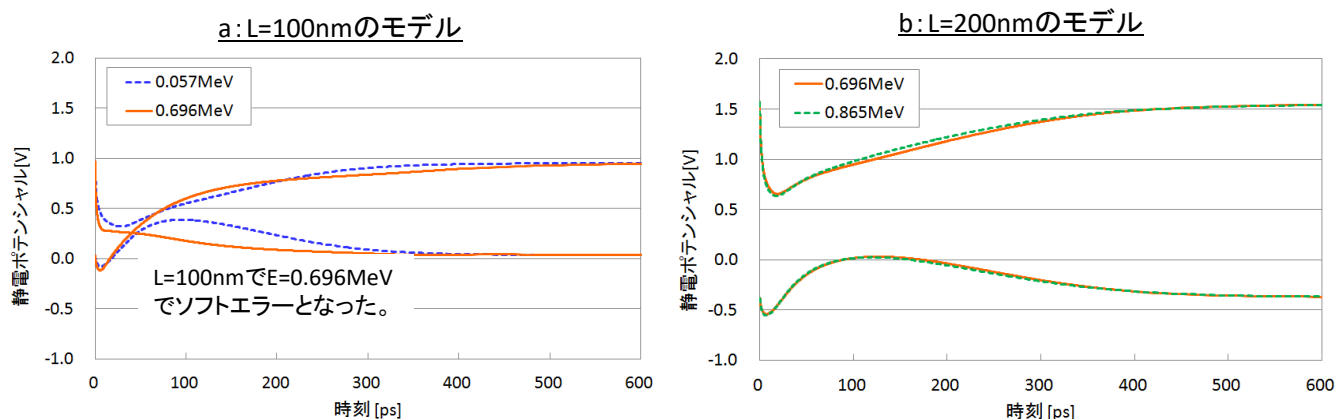


Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

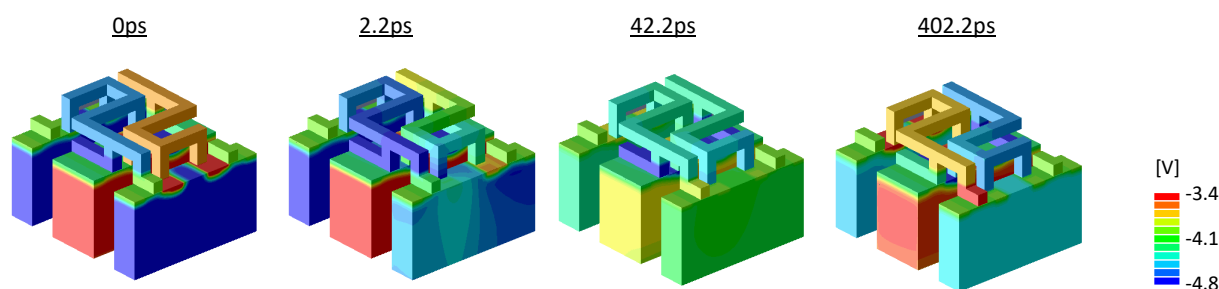
SRAMソフトエラー解析例

解析結果

α 線入射後のインバータ間配線の静電ポテンシャルの時間変化



L=100nmでE=0.696MeVの場合(ソフトエラー発生)の静電ポテンシャル分布の時間変化



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

41

半導体関連の当社ソリューション

➤ シミュレーションソフトウェアの販売

- Advance/TCAD: 3次元TCADシステム
- Advance/ParallelWave: 電磁波解析ソフトウェア
- Advance/PHASE: 第一原理計算ソフトウェア
- それ以外にも多種・多様な自社開発ソフトウェアを販売しています。

アドバンスソフト 解析事例

検索

➤ 解析、開発サービス

- 当社ソフトウェアを使用した解析サービス。
- お客様のご要望に沿った開発サービス。
- 当社ソフトウェアをベースとしたカスタマイズやシステム開発。

➤ 解析、開発サービス

- 専門技術者によるコンサルティングサービス。
- 専門技術者による人材教育関連のサービス。

TCADセミナー

- デバイスシミュレーションの精度を決める 物理モデル と 数値計算技術 -

AdvanceSoft株式会社
小田 嘉則

2025年 10月 22日(水)

©2025 AdvanceSoft Corporation

0

概要

- なぜシミュレーションの「精度」が重要か？
- 精度の柱①：物理モデル（何を解くか）
- 精度の柱②：数値計算技術（どう解くか）
- まとめと展望

©2025 AdvanceSoft Corporation

1

なぜTCADシミュレーションの「精度」が重要か？

◆ TCADデバイスシミュレーションの目的:

半導体デバイス (MOSFET, HEMT, パワーデバイス, イメージセンサーなど) **内部の物理現象を可視化し、電气的特性 (I-V特性、C-V特性など) を予測する。**

→ 基本方程式系: **ポアソン方程式、電流連続の式 (ドリフト・拡散)**、(+エネルギー輸送など)

● 「精度」が開発の鍵を握る:

■ **開発サイクルの短縮 (Time-to-Market):** **試作・実験回数の大幅な削減。**高精度な予測が「バーチャル試作」を可能にする。

■ **先端デバイスの設計:** 実験では困難な極微細領域 (GAA, 2D材料など) の動作解析。
物理的効果・限界 (短チャネル効果、量子効果) の予測。

■ **信頼性・ばらつきの評価:** **製造ばらつきや劣化メカニズムの定量的予測。**

● 精度の二大要因:

■ **物理モデル:** 現実の物理現象をどれだけ正しく方程式に落とし込んでいるか？

■ **数値計算:** その方程式をどれだけ正確に (かつ速く) コンピュータで解けているか？

精度の柱① - 物理モデル (基礎)

◆ シミュレーションは「**モデル化された物理**」を解いているに過ぎない。

● 基幹モデル (**輸送モデル**): キャリア (電子・正孔) の振る舞いをどう記述するか？

■ **ドリフト・拡散 (Drift-Diffusion) モデル:**最も一般的。計算が速い。

→ キャリア温度 = 格子温度と仮定。

課題: 微細化デバイスでのホットキャリア効果や非局所効果 (オーバーシュートなど) を記述できない。

■ **流体力学 (HD) モデル:**

DDに「エネルギー輸送方程式」を追加。

キャリア温度を考慮 → ホットキャリア効果の記述改善。

■ **モンテカルロ (MC) / 量子輸送 (NEGF:非平衡グリーン関数法):**

より厳密な物理に基づき解く。

精度は高いが、計算コストが膨大 (設計用途には重い)。

● 現象モデル (補助モデル): 基幹モデルを補完する「味付け」。

■ **移動度 (μ):** キャリアの動きやすさ。精度への影響大。

格子散乱、不純物散乱、界面ラフネス散乱、キャリア・キャリア散乱、高電界飽和...

■ **再結合・生成 (G-R):**

SRH (Shockley-Read-Hall)、Auger、バンド間トンネル (BTBT)、インパクトイオン化...

→ デバイスの種類と動作領域に適したモデル選択が精度の第一歩。

精度の柱① - 物理モデル (先端デバイスの課題)

◆ 先端デバイス (FinFET, GAA, CFET, TFETなど) では、従来モデルでは不十分な場合がある

● 量子効果モデル (必須):

- 量子閉じ込め: チャンネルが狭くなると、エネルギー準位が離散化 → しきい値電圧 (V_{th}) の上昇、実効的バンドギャップの増大。
- トンネル効果:
 - ・ Source-to-Drain (S/D) トンネル: 短チャンネル効果の要因。
 - ・ Gate-Induced Drain Leakage (GIDL)
 - ・ バンド間トンネル (BTBT): TFETの動作原理、リーク電流源。

● 新材料・マルチフィジックス:

- 新材料: SiC, GaN (高耐圧)、Ge, III-V化合物 (高移動度)、2D材料 → 材料特有のパラメータ、異方性、複雑なバンド構造の考慮。
- マルチフィジックス連成:
 - ・ 自己発熱 (Self-Heating): ON抵抗の増加、信頼性低下。電気系と熱系の連成。
 - ・ 応力 (Stress): ひずみSiなど。移動度変調。電気系と応力系の連成。

精度の柱② - 数値計算技術 (離散化とメッシュ)

◆ 支配方程式 (偏微分方程式) をコンピュータで解ける形 (連立一次方程式) に変換する技術

● 離散化手法:

有限差分法 (FDM)、有限要素法 (FEM)、有限体積法 (FVM) (TCADで主流)

Scharfetter-Gummel (SG) スキーム: 電流連続の式を安定的に離散化するデファクトスタンダード。

● メッシュ生成 (Mesh Generation): 精度とコストの最大のトレードオフ。

- 粗いメッシュ: 計算は速いが、物理現象 (電界集中、キャリア分布急変) を捉えきれず、精度が著しく悪化 (Numerical Diffusion)。
- 細かいメッシュ: 精度は向上するが、計算時間・メモリが爆発的に増加。
- 解法: アダプティブメッシュ (適応型メッシュ)
 - ・ シミュレーション実行中に、物理量の変化が激しい場所 (接合部、界面、電界集中部) のメッシュを自動的に細分化。(技術的に難しい部分と、変化が激しい部分がバイアスで移動するとメッシュの切り直しが発生し、計算時間が長くなることもある)

精度の柱② - 数値計算技術 (ソルバー)

◆ 離散化によって得られた、巨大な非線形連立方程式を解く技術。

● 非線形ソルバー:

- **Gummel法**、**ニュートン法** (またはその改良版) が一般的。
- **半導体方程式は極めて強い非線形性を持つ**ため、収束させるのが難しい。

(例: キャリア濃度は電位の指数関数 ($n \sim \exp(q\Phi/kT)$))

- 収束性の課題: **良い初期値**、**ロバストなアルゴリズム**が必須。

● 線形ソルバー (マトリックスソルバー):

- ニュートン法の各ステップで、巨大な疎行列 (ヤコビアン行列) の線形方程式 ($A \cdot x = b$) を解く。
- 直接法 (Direct Solver): **LU分解**など。ロバストだが、3D問題ではメモリ・計算時間が膨大。
- 反復法 (Iterative Solver): **ICCG**, **GMRES**, **BiCGSTAB**など。メモリ効率は良いが、収束しない場合もある。→ **前処理 (Preconditioning)** が鍵。

トレンド:

- HPC (High-Performance Computing): **GPU活用による計算の高速化**。
- 3Dデバイス、マルチフィジクス連成による超大規模問題への対応。

忘れてはならない「精度検証 (Calibration)」

◆ シミュレーションは「魔法の箱」ではない。

● キャリブレーションとは ? :

- **実測データ (実験結果) とシミュレーション結果を比較し、物理モデル内の調整可能なパラメータ (移動度、再結合ライフタイムなど) を合わせ込む作業。**

電流-電圧特性の
実測値・シミュレーション結果比較図
(実測値が有るため削除)

● キャリブレーションの重要性:

- キャリブレーションされて初めて、そのシミュレータは対象プロセス・デバイスに対する「**予測能力**」を持つ。

注意: 過度なフィッティング (物理的妥当性を無視した「カーブ合わせ」) は危険。

→ 予測精度を失う (Garbage In, Garbage Out)。

まとめと今後の展望

まとめ:

- ◆ デバイスシミュレーションの精度は、①適切な「物理モデル」と ②ロバストな「数値計算技術」の両輪で決まる。
 - 物理モデル: デバイス構造・材料・動作原理（量子効果、熱など）を正しく記述する必要がある。
→ 逆に、入っていない物理現象は出てこない！
 - 数値計算: メッシュとソルバーが、精度・速度・安定性を左右する。
 - 精度検証: 実測とのキャリブレーションが、シミュレーションの信頼性を担保する。

今後の展望:

- AI/機械学習 (ML) との融合:
複雑な物理モデルの代理（サロゲートモデル）化による高速化。
パラメータ抽出の自動化・高速化。
- DTCO (Design Technology Co-Optimization): プロセス～デバイス～回路を繋ぐ連携シミュレーションにおいて、高精度なデバイスモデルの役割がますます重要に。

ご清聴ありがとうございました。

近々、AdvanceSoft のホームページで「TCAD 技術ブログ」を始めます！

内容(未定/計画中) : メッシュの切り方
電圧ステップの刻み方
行列解法に関して（選択方法、前処理…）
収束しなかったら時の対処方法
…

Advance/TCAD-GUIの 最新開発状況と活用ポイント

第1事業部 技術第6部 GUI開発担当

半導体デバイスシミュレーション入門から最新応用まで
～物理モデルの基礎から、Advance/TCADによるAI・電磁波解析との連携まで～

2025年10月22日（水）
アドバンスソフト株式会社

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

プロセス-デバイスコンバータの概要

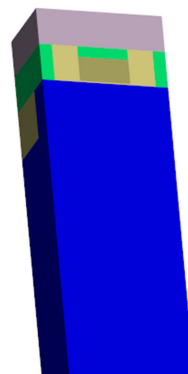
<https://www.advancesoft.jp/>

AdvanceSoft

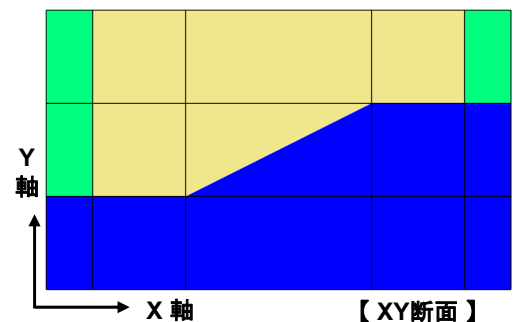
Advance/TCADのプロセスシミュレータの4面体セルには、偏平な4面体も含まれている場合が多く、そのままでは、デバイスシミュレーションを実行できない。

また、プロセスシミュレーションでは、不純物濃度を4面体セル割り当てているが、デバイスシミュレーションでは、節点（セルの頂点）に不純物濃度を割り当てる必要がある。

プロセスシミュレーションのデータを、デバイスシミュレーションの実行に適したデータに変換するのがコンバータの役割。



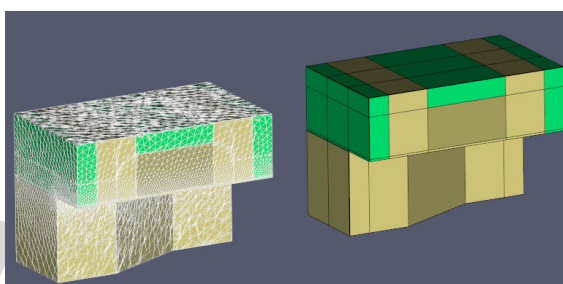
例題：314-01_15.pres



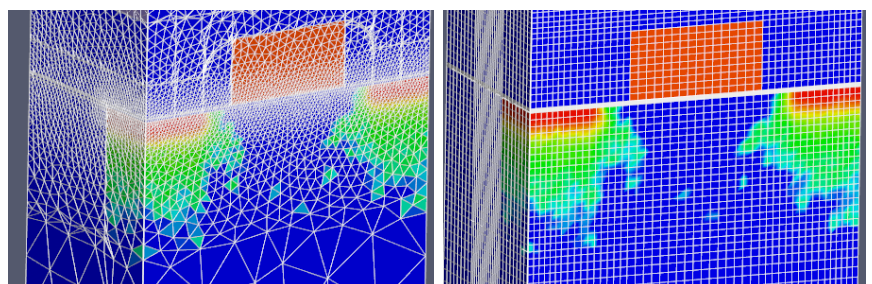
【XY断面】

- ・形状抽出（輪郭抽出と材質判定）
- ・メッシュ変換（4面体 → 直方体）

- ・不純物濃度のマッピング



4面体 → 変換 → 直方体&三角柱



プロセス4面体セルの不純物濃度

マッピング

デバイスSim用セルの頂点の不純物濃度

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

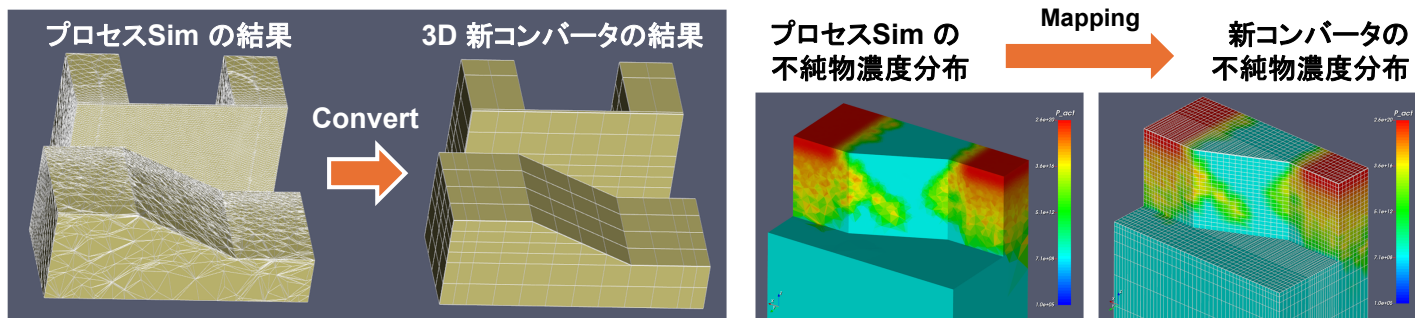
旧コンバータと新コンバータの比較：

	コンバータ ver.1	コンバータ ver.2	コンバータ ver.3
開発時期	2014年頃	2023～2024年	2024～2025年
ノット点の抽出	マスクファイルを使う	STLデータから抽出	STLデータから抽出
材質境界の検出方法	材質境界探索幅を指定	STLデータから検出	STLデータから検出
材質判定	プロセスの4面体セルを参照して材質判定	プロセスの4面体セルを参照して材質判定	STLデータを参照して材質判定
対応する形状	直方体形状のみ	直方体形状のみ (ver.1より複雑な形状を扱える)	- 直方体形状 - 斜め形状 - シンプルな曲面形状
コンバータ設定の保存機能	あり	なし	あり
コンバータの操作性	簡単 ※ コンバータが上手く動作しない時は試行錯誤が必要	やや煩雑	autoRunモードで簡単操作

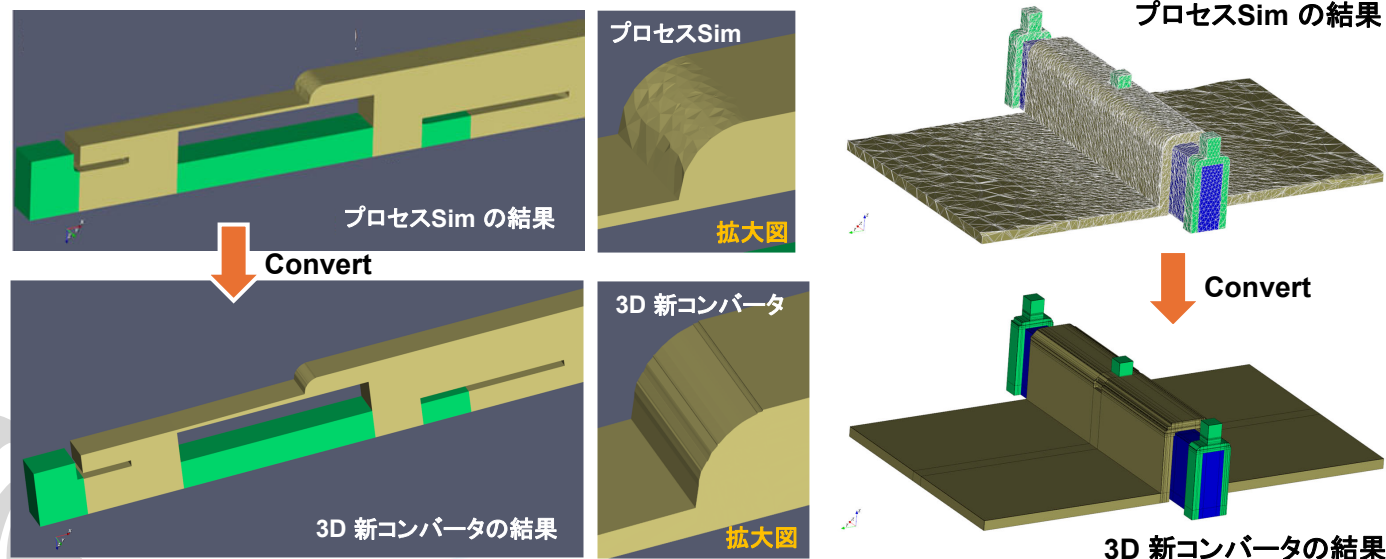
※ 近くリリース予定の最新版のTCAD-GUIで、
コンバータの ver.1, ver.2, ver.3 のいずれも使用可能です。
(旧バージョンのコンバータ機能も残しています。)

新コンバータの新機能：斜め形状やシンプルな曲面形状への対応

斜め形状の例題：



シンプルな曲面形状の例題：



新コンバータの操作手順：プロセス simからデバイスsimへのデータ変換



内容	プロセス結果ファイルを開く	形状抽出と材質判定を行う	X, Y, Z座標のメッシュ設定を行う	不純物濃度をマッピングする	バイアス設定などを設定する	dctlファイルとdmsbファイルを出力する
ver.2	手動操作が必要	手動操作が必要	手動操作が必要	手動操作が必要	手動操作が必要	手動操作が必要
ver.3 (autoRun)	手動操作が必要	自動処理 →	手動操作が必要	自動処理 →	手動操作が必要	手動操作が必要
ver.3 (CCTL)	自動処理が可能 (設定により途中で止めることも可能) →				手動操作が必要	手動操作が必要

コンバータ ver.3 の autoRunモードでのユーザーの操作：

- 手順①：プロセス結果（pres）ファイルを開く。
 手順②：X, Y, Z座標のメッシュ設定を行う。
 手順③：バイアス設定などの計算条件の設定を行う。
 手順④：dctlファイルとdmsbファイルを出力する。
 手順⑤：デバイスシミュレーションを実行する。

コンバータコントロール（CCTL）ファイル：

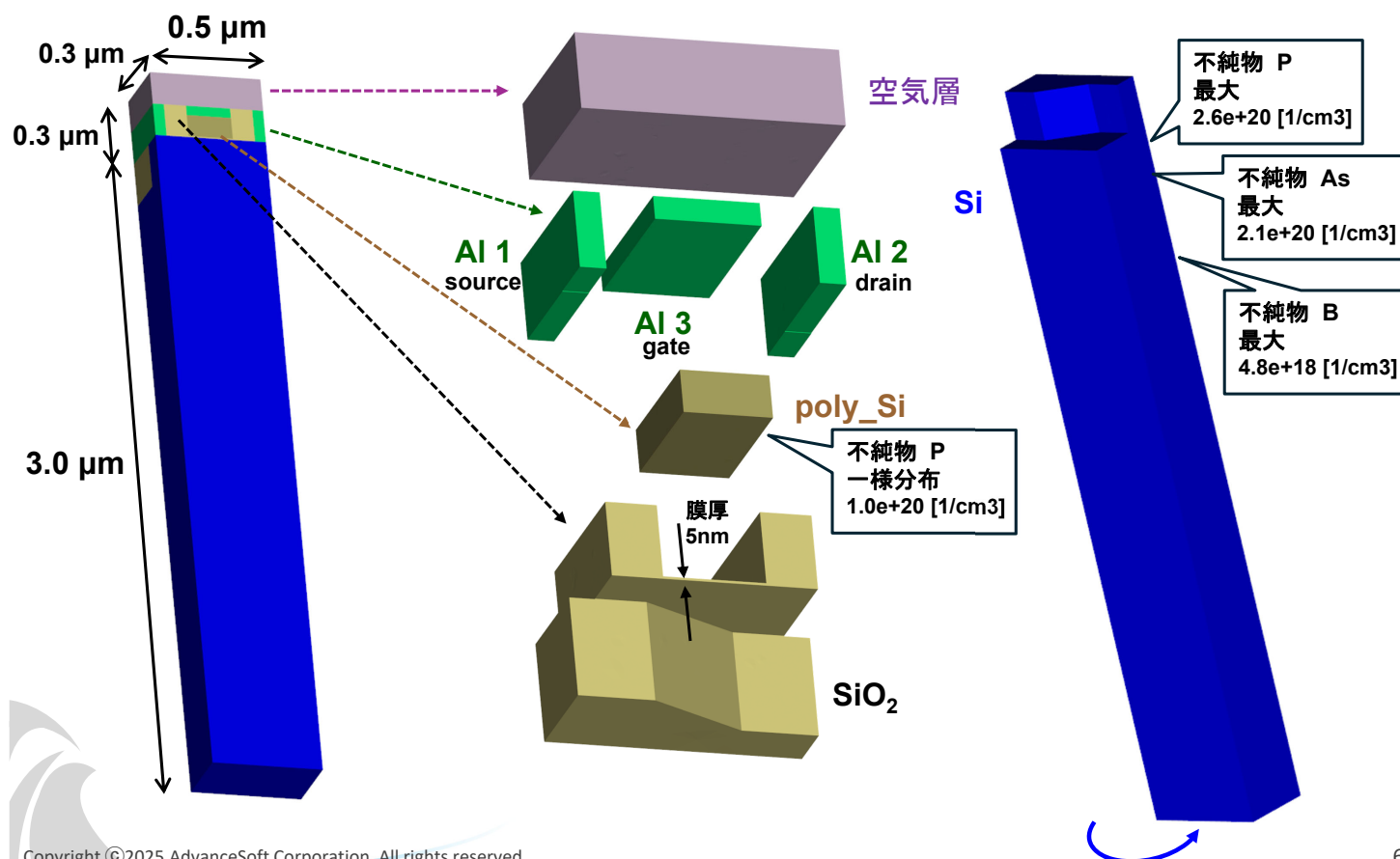
コンバータ（ver.3）を実行した時の設定を、CCTLファイルに保存できます。次回、コンバータを利用する際に、CCTLファイルを読み込んで実行すれば、presファイルの読み込み～不純物濃度マッピングまでを、全自動で実行することも可能です。

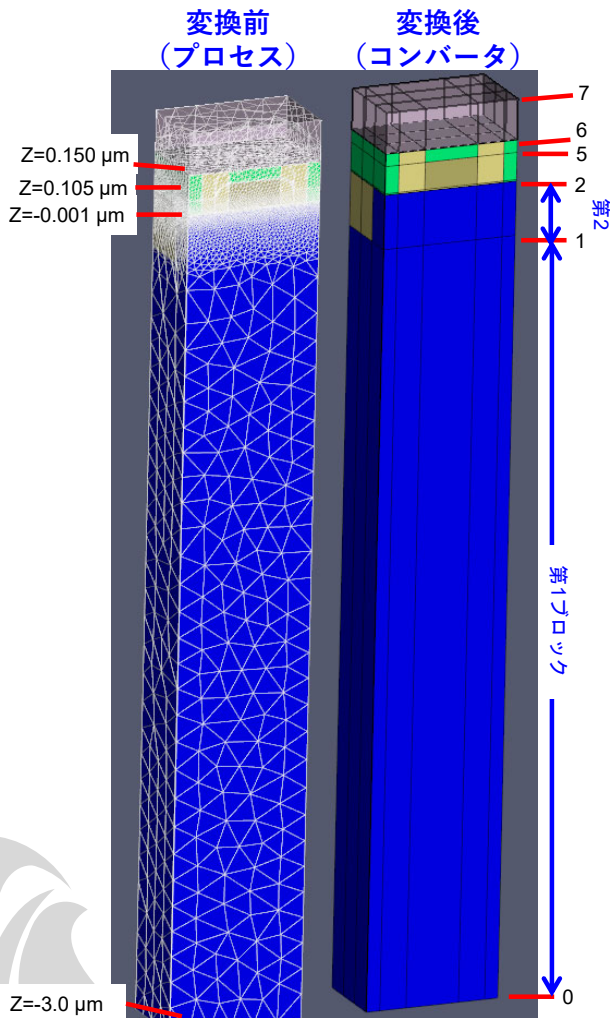
※ CCTLファイルは、テキストエディタで設定を変更できます。

このように、コンバータ ver.3 は ver.2と比べて、操作方法が簡単になりました。

このセミナーで主に扱う例題：

【例題】 314-01_15.pres：外側からは見えないがXY断面に斜め境界を持つ構造

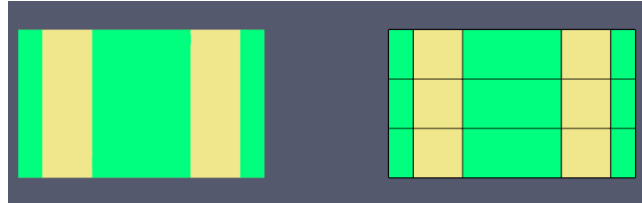




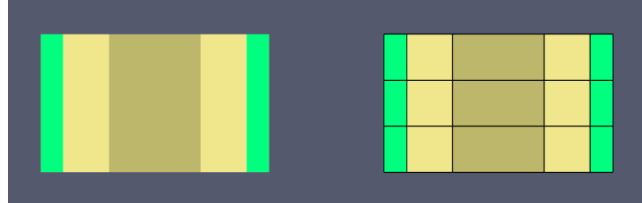
コンバータ ver.2とver.3では、変換前後の構造を並べて比較できます。
この時、外側だけでなく、断面も比較すると、なお良いです。

コンバータ下部の [Pres Section] と [Block Range] で簡単に比較できます。
※ 薄膜部分を比較した時に、数値誤差で表示が異なることがあります。

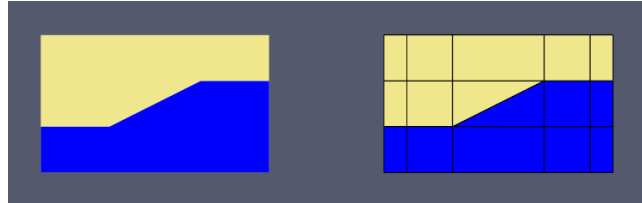
Z= 0.150 μmの断面と、第1～第6ブロックを表示した比較



Z= 0.105 μmの断面と、第1～第5ブロックを表示した比較



Z= -0.001 μmの断面と、第1～第2ブロックを表示した比較



変換前 (プロセス)

変換後 (コンバータ)

7

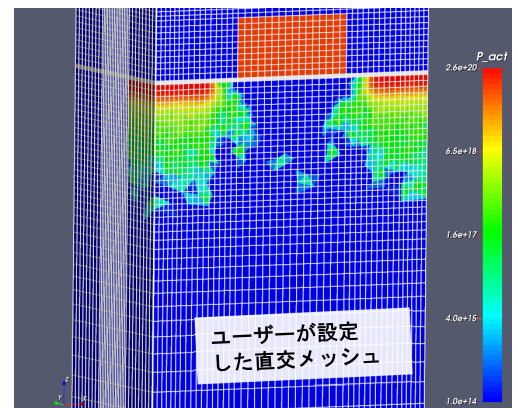
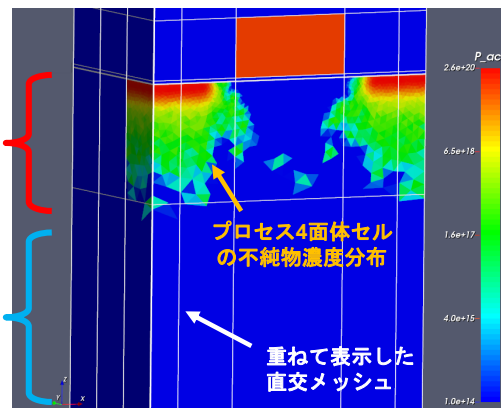
メッシュを切る際の活用ポイント： 不純物濃度分布を考慮する

- ◆ 物理量の変化の大きい所は、メッシュを細かく切ると良いことが多い。
- ◆ 不純物濃度分布の変化が、物理量の変化に影響を及ぼすことが多い。

不純物濃度分布を考慮しながらメッシュを設定

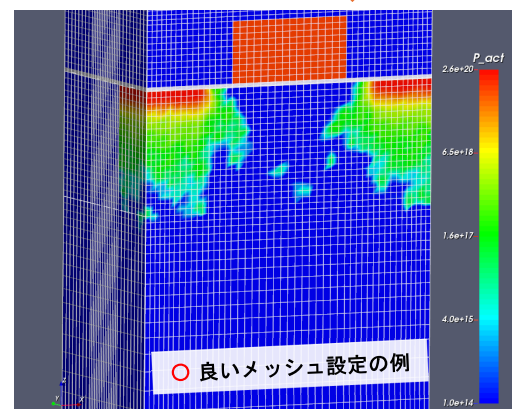
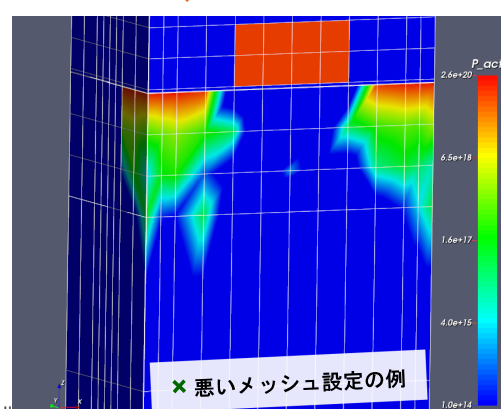
不純物濃度値が高いので細かいメッシュを切ると良い

不純物濃度値が低いので荒いメッシュでも良い (等比級数にすると良い)



直交メッシュに不純物濃度マッピングした後のデータ

コンバータver.2とver.3では、このようにプロセス4面体セルの不純物濃度分布に、直交メッシュを重ねて表示しながら、ユーザーが目視で、メッシュの切り方を決めることが可能です。



※ 表示モードを STL→Pres に変更し、「表示データ設定」で、表示したい不純物種のデータを選択します。

斜め形状の例題のデバイスシミュレーションの結果：

静電ポテンシャルの計算結果

バイアススケジュール設定：

① ゲート電圧 V_g 印加：

1.0[V], 2.0 [V], 5.0 [V] の3通り
印加電圧の増分 0.02 [V]

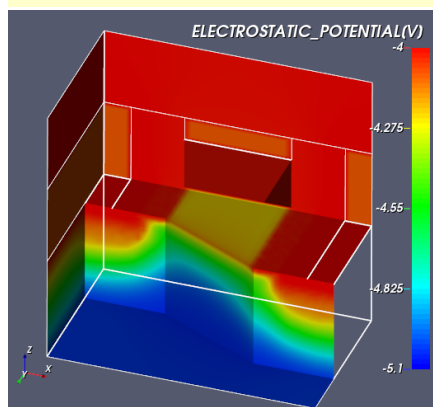
② ドレイン電圧 V_d 印加：

印加電圧の増分 0.01 [V] で 10 step

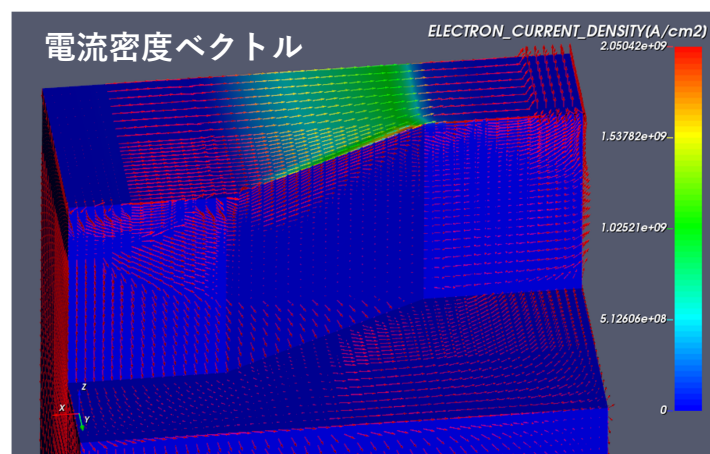
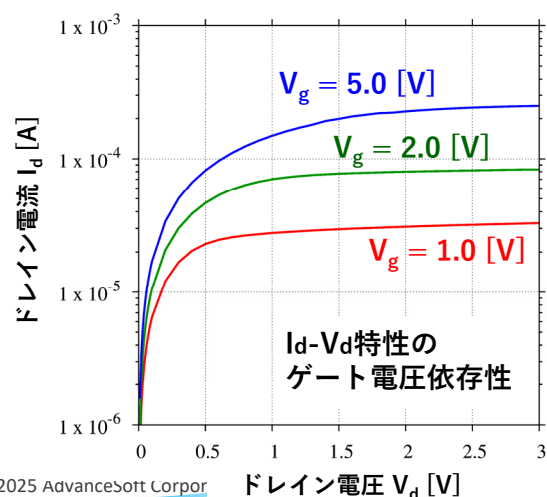
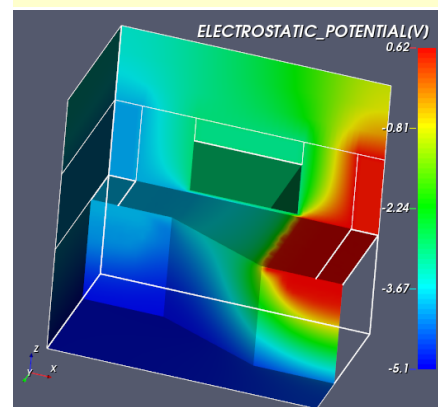
③ ドレイン電圧 V_d 印加：

印加電圧の増分 0.1 [V] で 100 step

ゲート電圧印加時：



ドレイン電圧印加時：



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corpor

ドレイン電圧 V_d [V]

デバイスシミュレーションとAIを組み合わせた 歩留まり向上の可能性

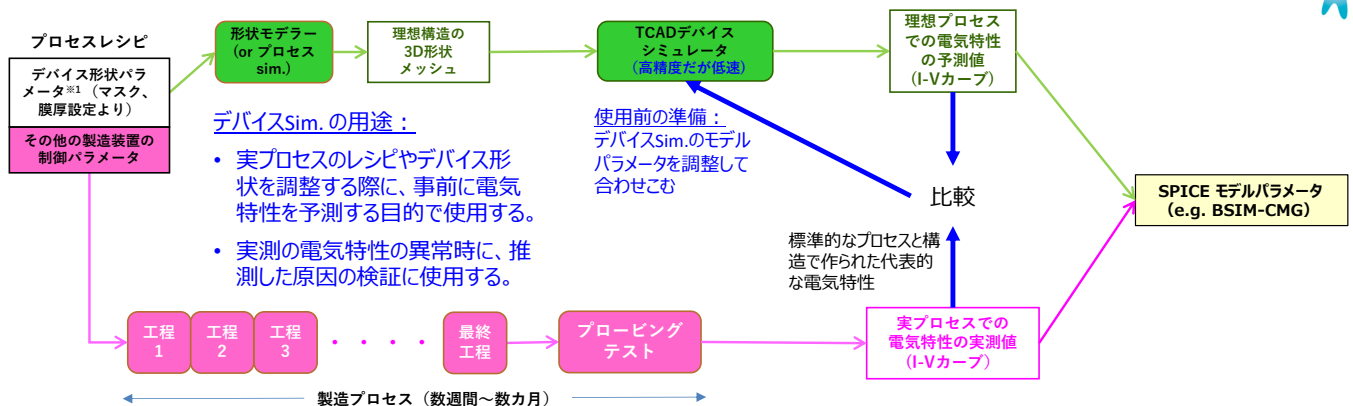
第1事業部 技術第6部 原田 昌紀

半導体デバイスシミュレーション入門から最新応用まで
～物理モデルの基礎から、Advance/TCADによるAI・電磁波解析との連携まで～

2025年10月22日（水）

アドバンスソフト株式会社

半導体製造工程における従来のTCADの使い方と課題



課題1: あくまでも代表的な実測値との合わせ込みであるため、シミュレーションの結果も実測値の平均的な特性を予測するものであり、現実(試作・量産工程)のプロセス変動やウエハ面内ばらつきなどは精度よく再現でない。

課題2: デバイスシミュレータの計算コストが大きい。

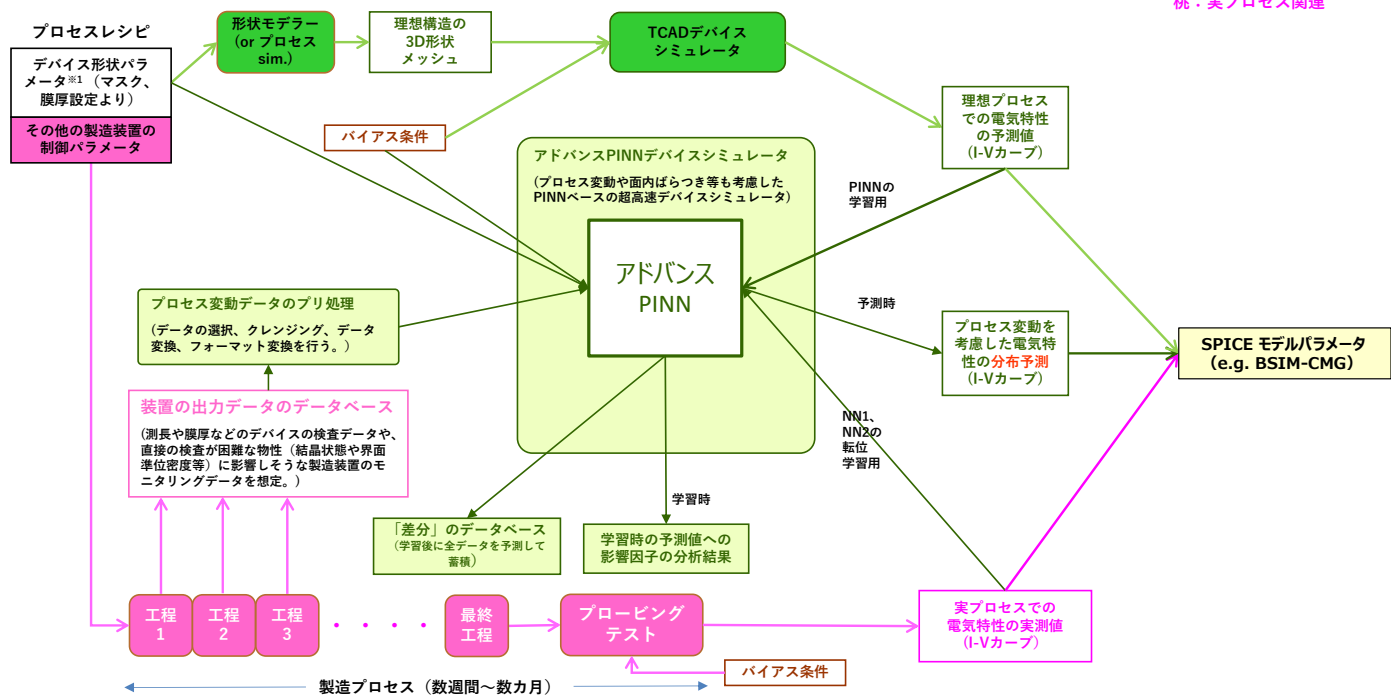
デバイスシミュレーションとAIを組み合わせたシステムを構築することで両課題を解決できるのでは？

半導体製造工程における歩留まり向上のためのシステム案

【全体の完成イメージ】



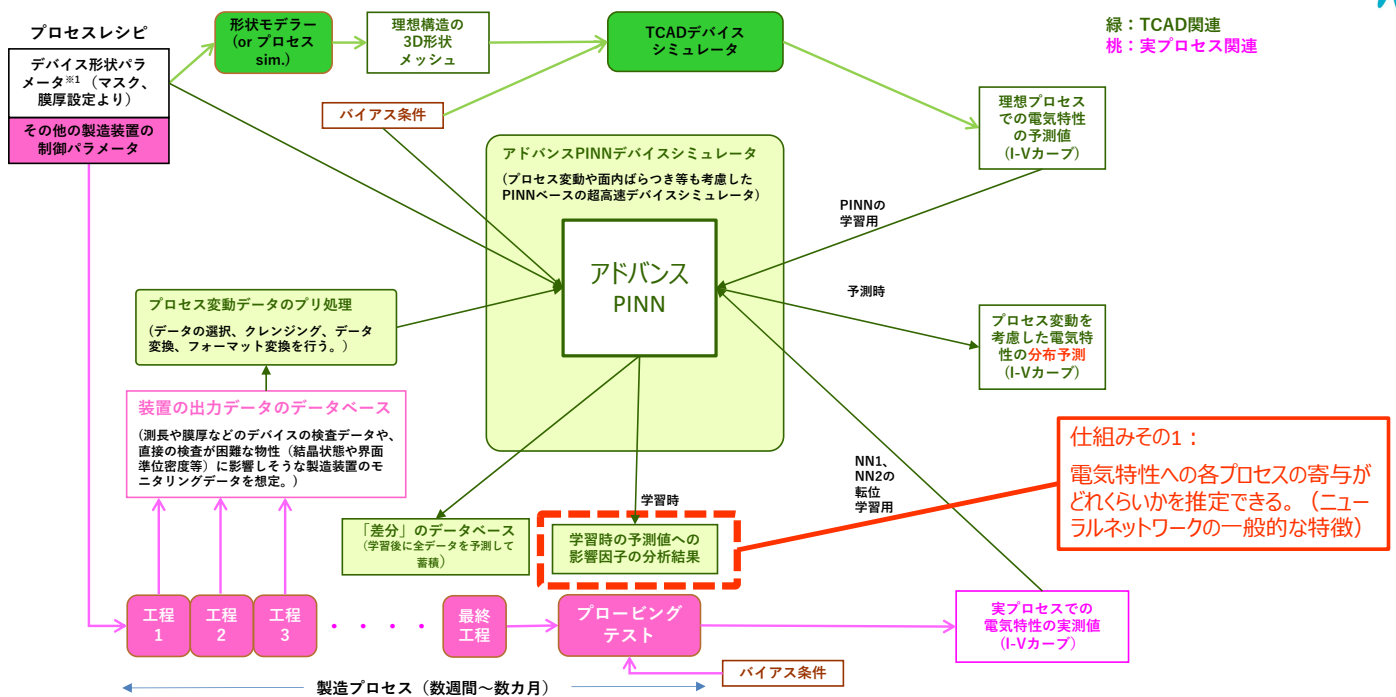
緑：TCAD関連
桃：実プロセス関連



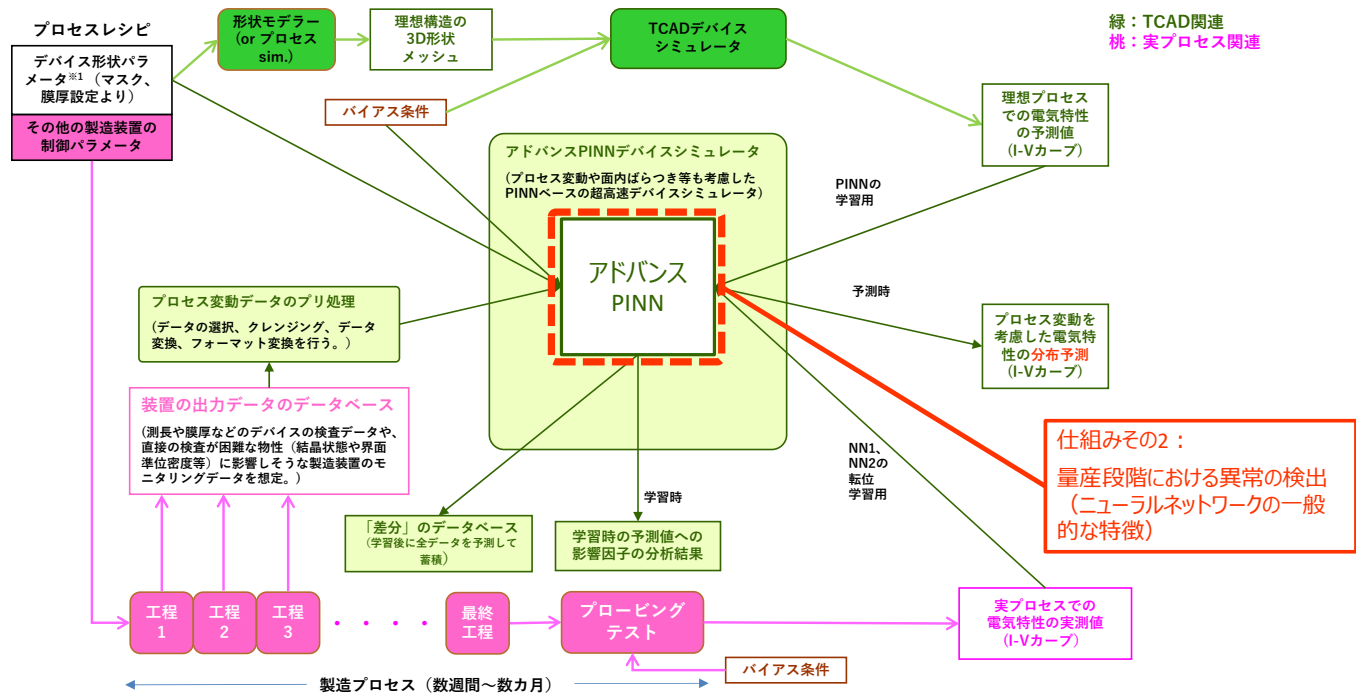
歩留まり向上の仕組みその1



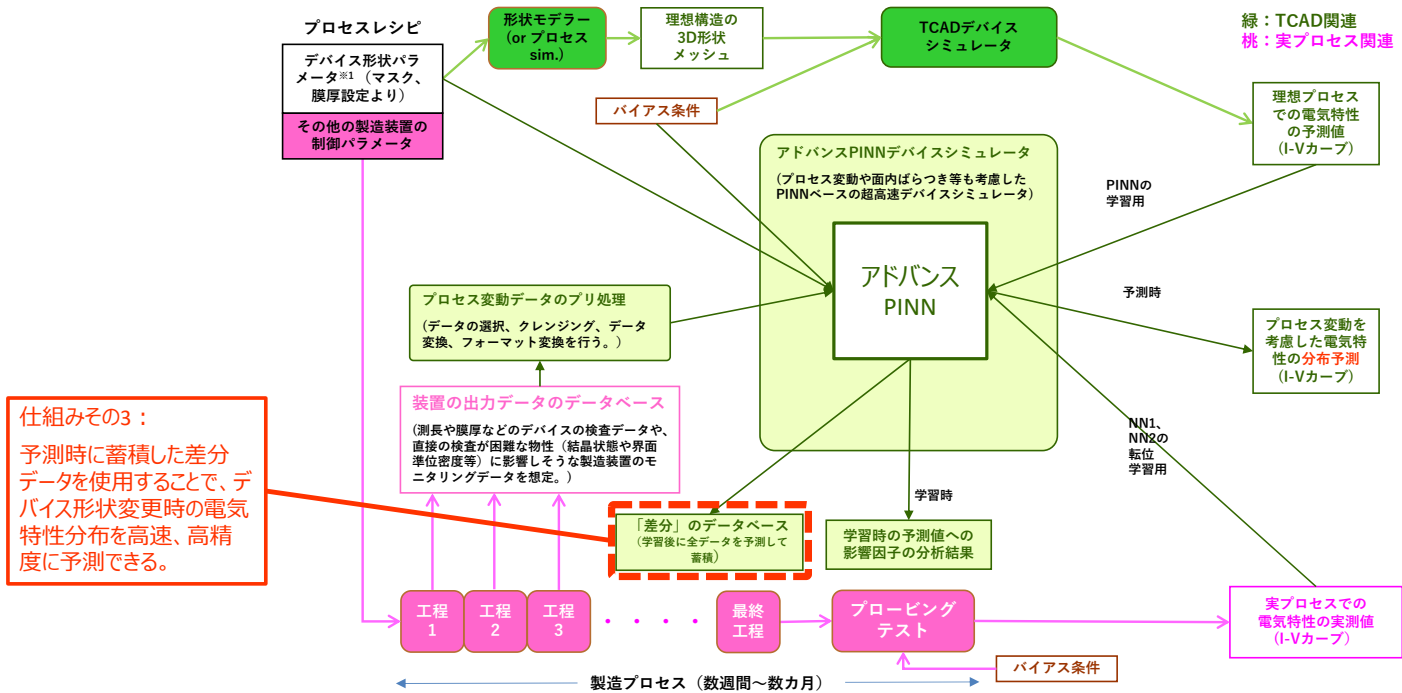
緑：TCAD関連
桃：実プロセス関連



歩留まり向上の仕組みその2



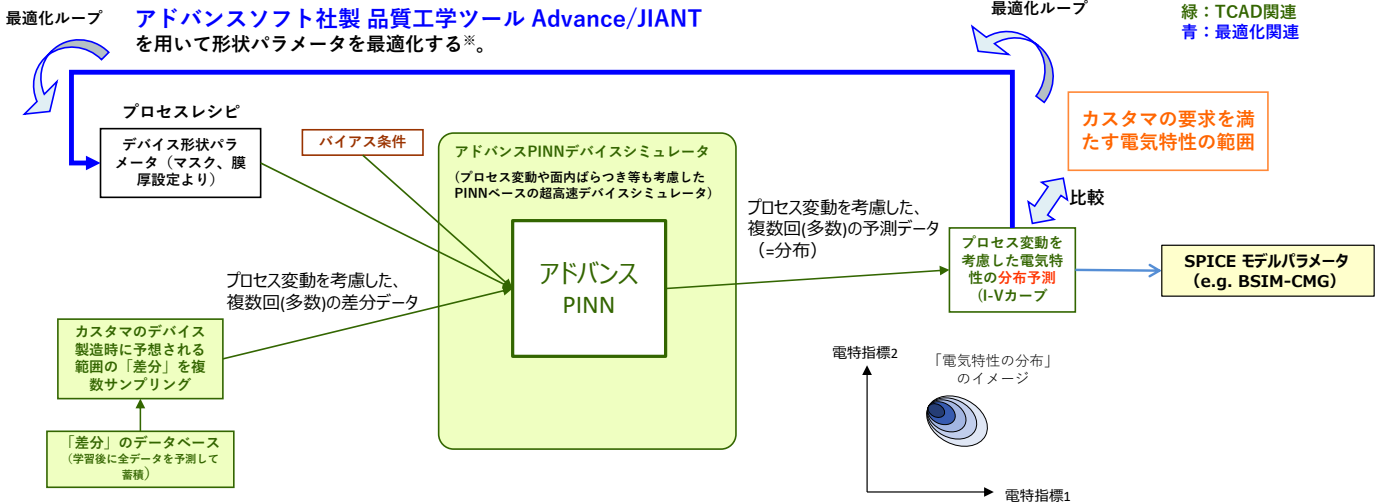
歩留まり向上の仕組みその3



歩留まり向上の仕組みその3

【カスタマからのデバイスへの新規性能要求時】

<http://www.advancesoft.jp/>



プロセス変動を考慮した電気特性の分布を高速・高精度に予測できることにより、カスタマから要求された電気特性を満たす**高歩留まり**が見込まれるデバイス形状パラメータを短時間で抽出可能

※最適化で使用している品質工学ツール Advance/JIANTは、比較対象のターゲットと予測結果が共に範囲を持つ場合の最適化機能を有するツールとして、アドバンスソフトで自社開発、販売している。
他にも「パラメータの最適化」について、アドバンスソフトではGA、ベイズ最適化などの実績が多数ある。

© 2025 AdvanceSoft Corporation

7

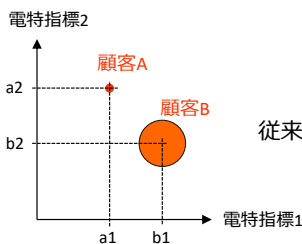
歩留まり向上の仕組みその3

【電気特性の分布予測による歩留まり向上への寄与】

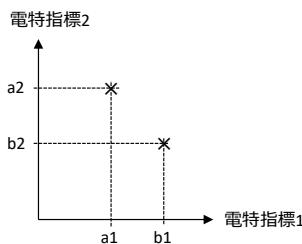
<http://www.advancesoft.jp/>



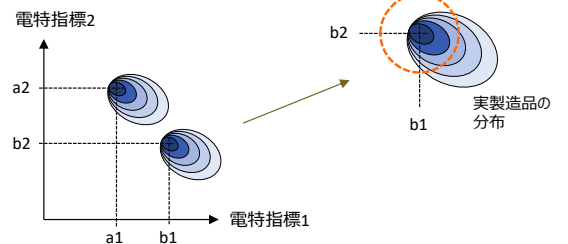
顧客からの性能への要求仕様



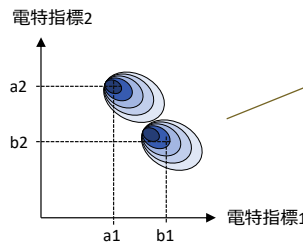
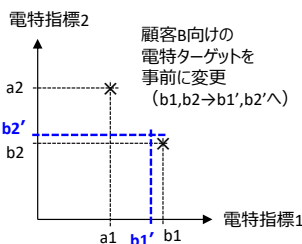
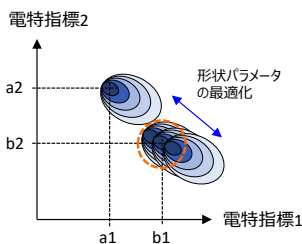
試作におけるターゲット



実製品の分布



プロセス変動(装置間、面内等)を考慮した電気特性分布予測



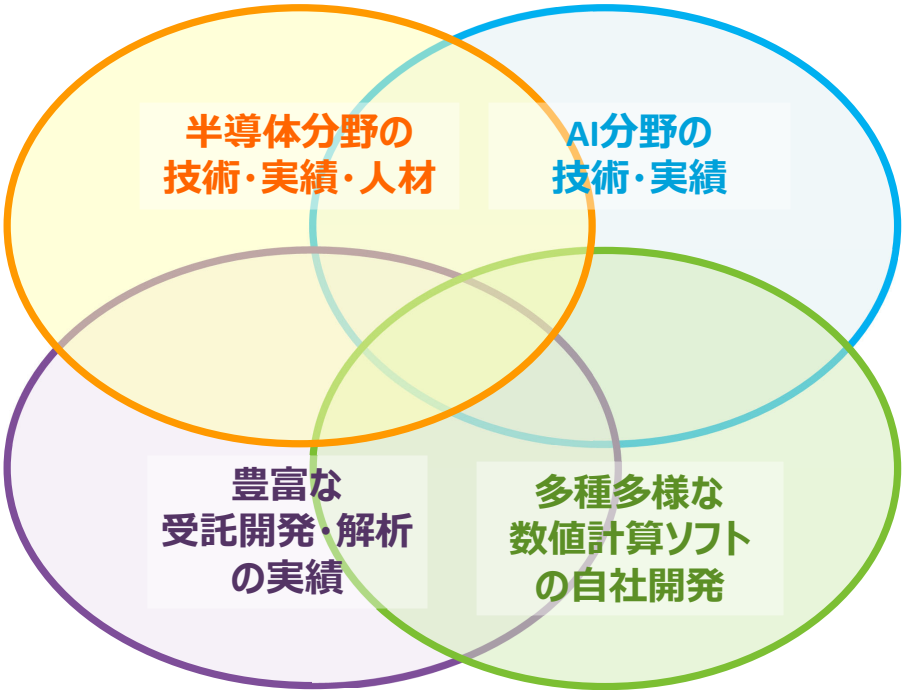
顧客B向けの歩留まり向上

© 2025 AdvanceSoft Corporation

8



TCADメーカーとしての技術力、およびプロセスから電気特性までの幅広い経験を持つ人材が携わります。



AI分野においても、シミュレーションソフトウェア会社ならではの視点でアイデアを取り入れます。

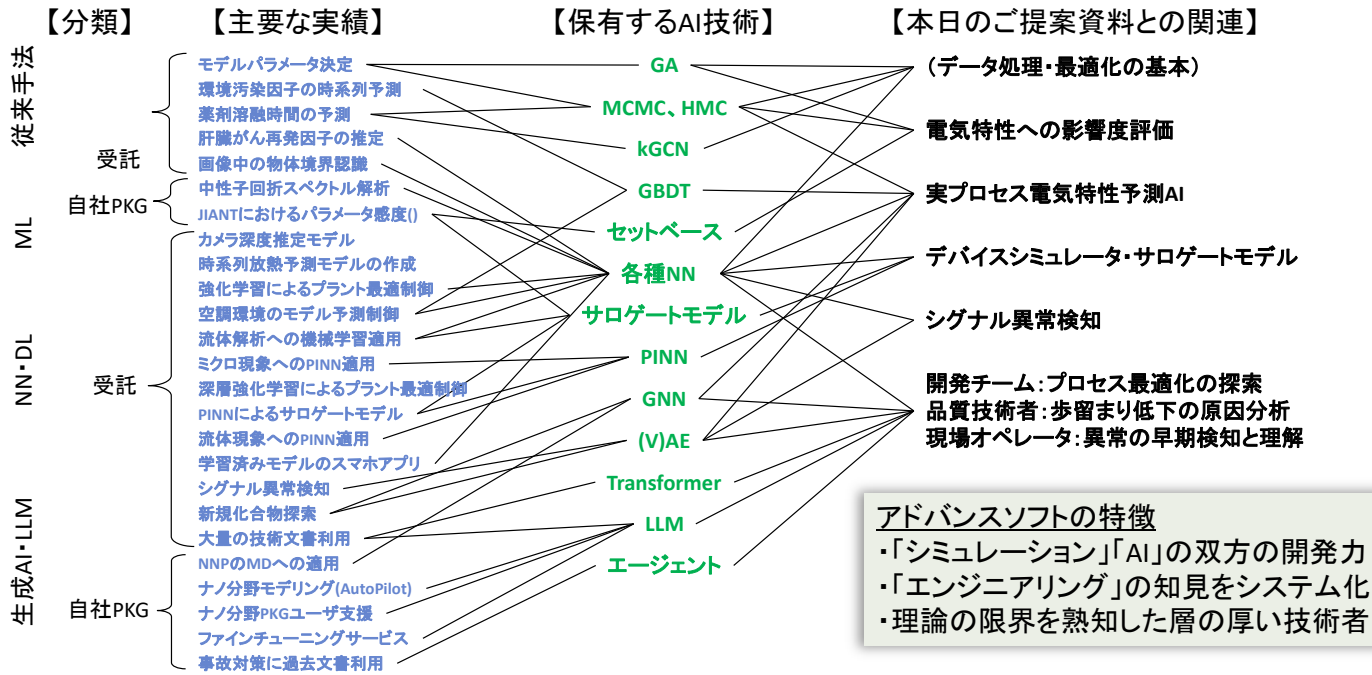
お客様からの様々なご要望に臨機応変にお応えします。

自社開発で培った技術力により、迅速にシステム開発を行います。

AI分野におけるアドバンスソフトの実績



アドバンスソフトの主要実績、保有するAI技術、適用可能性



電磁波解析ソフトウェア Advance/ParallelWaveによる 光と半導体の連成解析機能のご紹介

アドバンスソフト株式会社

半導体デバイスシミュレーション
入門から最新応用まで
～物理モデルの基礎からAdvance/TCADによる
AI・電磁波解析との連携～
2025年010月22日（水）

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

目次

1. ParallelWaveの概要
2. FDTDの概要
3. 光とTCADの連成解析機能
4. 光吸収分布
5. 光電変換
6. PNダイオードモデル
7. まとめ

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

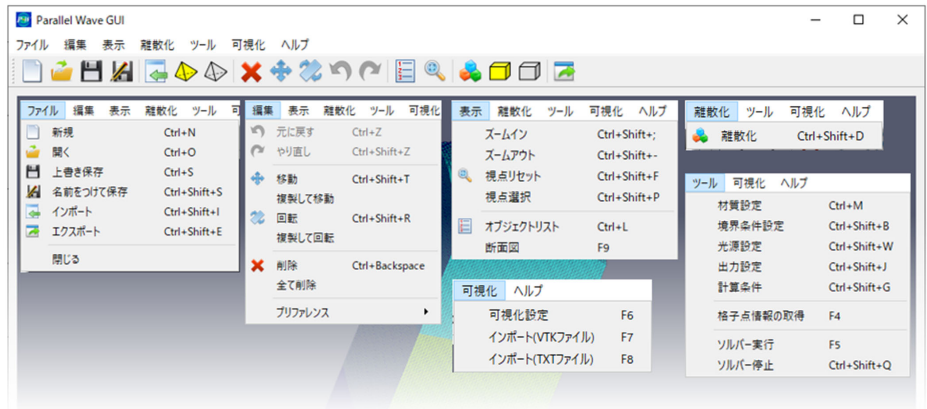
2

ParallelWaveの概要

- FDTD法でMaxwell方程式を3次元的に直接解く手法
- 波動光学的なアプローチ（幾何学的なアプローチではない）
- 光の透過、反射、吸収、干渉、回折の現象を解析できる

ParallelWaveの特徴

- MPI並列計算に対応。大規模解析を想定
- CADデータをインポートして直交格子に離散化する。複雑な形状のモデルに対応可能
- GUI上でモデルの編集、計算実行、可視化など
- Advance/TCADとの連成解析機能



FDTD法の概要

- 基礎方程式はMaxwell方程式の2つの回転の式（2つの発散の式は自動的に満足される）
- FDTD法は、これらの式を時間と空間について差分法で解く

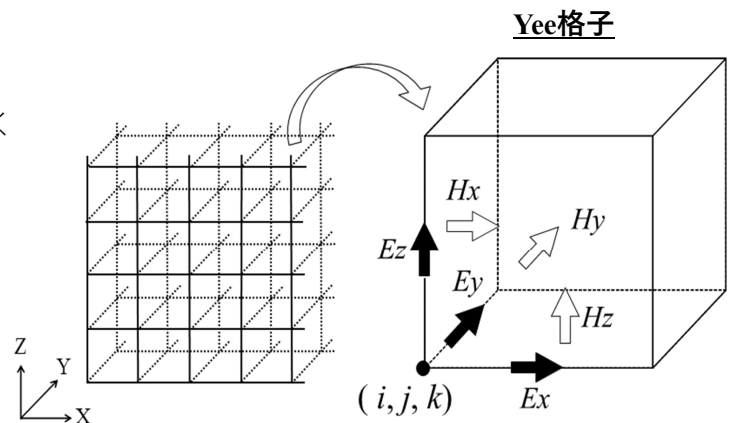
アンペア・マクスウェルの法則：

$$\epsilon \frac{\partial \vec{E}(\vec{r}, t)}{\partial t} + \sigma \vec{E}(\vec{r}, t) = \text{rot } \vec{H}(\vec{r}, t)$$

ファラデーの法則：

$$\mu \frac{\partial \vec{H}(\vec{r}, t)}{\partial t} = -\text{rot } \vec{E}(\vec{r}, t)$$

$\vec{E}$	電界ベクトル
$\vec{H}$	磁界ベクトル
$\vec{r}$	空間座標
t	時刻、時間
ϵ	誘電率
σ	導電率（電気伝導率）
μ	透磁率



- 差分法で解くために3次元空間を直交差分格子で分割（格子間隔は不均一でもよい）
- 電磁界成分を差分格子にスタッガード配置(Yee格子)
- 媒質定数(誘電率、導電率、透磁率)は各格子に設定

FDTD計算の状況

- FDTDは陽解法型差分法なので、クーラン条件の強い制約を受ける

$$\Delta t_c = \frac{1}{v \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta z}\right)^2}}$$

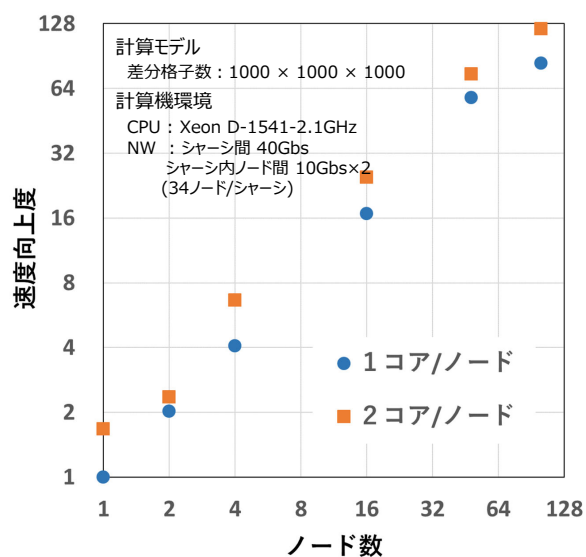
※陰解法型のFDTD法も提案されたが、結果的に Δt を Δt_c 程度にしなくては精度がでないのが実状。

並木、ADI-FDTD法（交互方向陰解法型－時間領域差分法）の概要、2018

- グリッド分散誤差を小さくするためにはセルサイズを $\lambda/10$ 以下にするのが望ましい(セルを細分化すると Δt_c が小さくなる)
- 例えば、 $\lambda=500\text{nm}$ の光解析の場合、セルサイズは 50nm 以下が望ましい。解析領域サイズが $50 \times 50 \times 50 \mu\text{m}$ の場合、10億セル($1000 \times 1000 \times 1000$)のFDTD計算をする必要がある
- FDTD計算では1億セルで約10GBのメモリが必要
- 電磁波解析では、分散メモリのMPI超並列環境でFDTD計算を実施する（FDTDは並列化効率が高い）

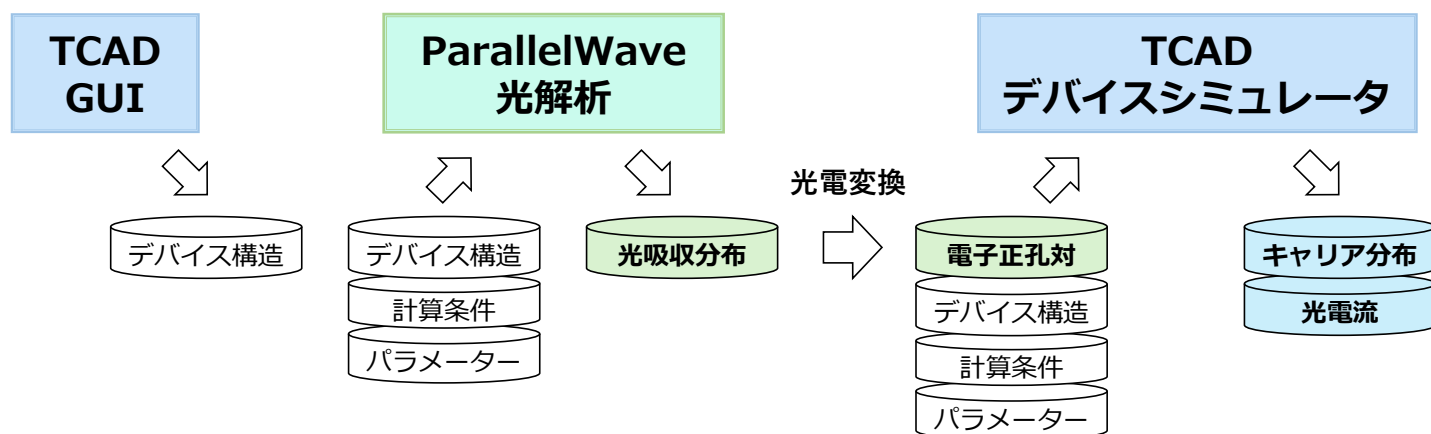
MPI並列化効率

Strong Scaling (一定問題をいかに速く解くか)



※ ご協力 計算科学振興財団 様

光とTCADの連成解析機能



- 光解析により半導体内部の光吸収分布を算出する(ParallelWave)
- 光吸収分布を電子正孔対に変換(光電変換)後、デバイスシミュレーションにより光電流を算出する(TCAD)
- CMOSイメージセンサーや太陽電池などの受光デバイスが解析対象

光吸収分布

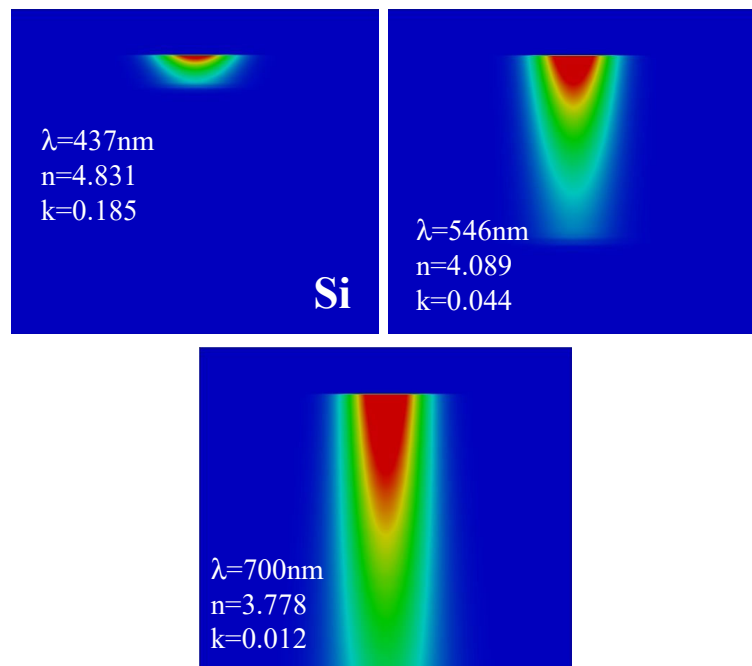
- 光強度の定常解として、解析領域の全差分格子の中心座標における電界二乗値($|E|^2$)が出力される

$$\text{電界: } E(r, \omega) = \frac{1}{T} \int_0^T [E(r, t)] e^{-j\omega t} dt$$

$$\text{光強度: } |E|^2$$

- 光吸収の定常解として、上記の光強度に導電率 σ を乗じた値が出力される

$$\text{光吸収: } \sigma |E|^2$$



※ λ : 光の波長、 n : Si の屈折率、 k : Si の消衰係数

7

光電変換

$$G_{\text{light}} = \frac{\text{光吸収} \sigma |E|^2}{\text{光子エネルギー} - h\nu} [cm^{-3} \cdot sec^{-1}]$$

電子正孔対発生量

※簡単な光電変換モデルの場合

電流連続式

$$\nabla \cdot J_n - q \frac{\partial n}{\partial t} = -q(G - R)$$

$$\nabla \cdot J_p + q \frac{\partial p}{\partial t} = q(G - R)$$

生成項Gに電子正孔対発生量を追加する

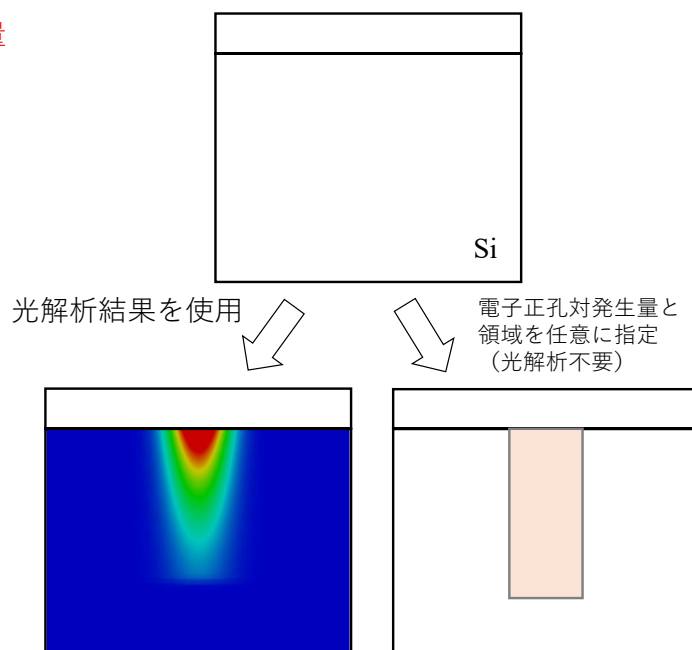
$$J = J_n + J_p$$

$$J_n = q(\mu_n n E + D_n \nabla n)$$

$$J_p = q(\mu_p p E - D_p \nabla p)$$

Drift-Diffusion (DD)モデル

- 光照射として2通りの設定方法がある

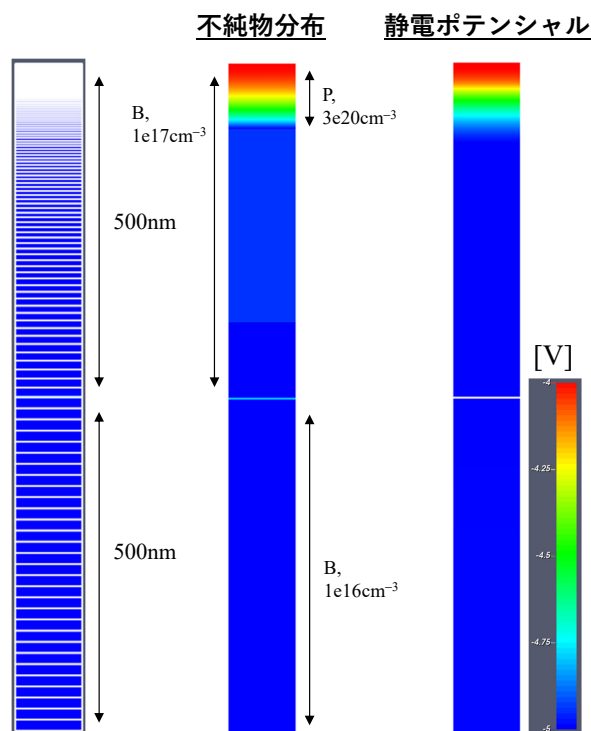


光解析結果を使用

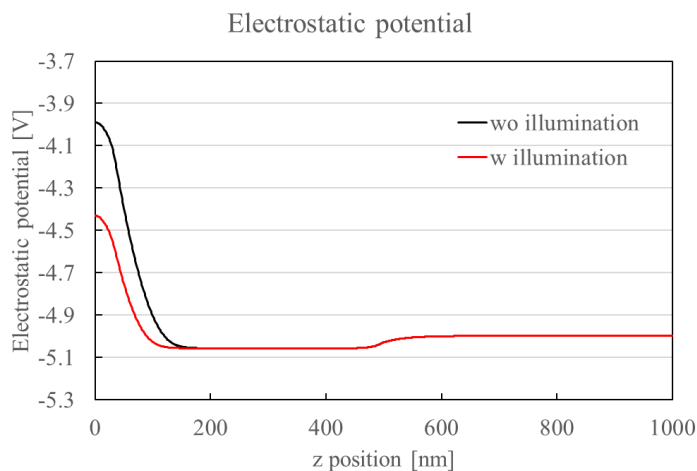
電子正孔対発生量と領域を任意に指定 (光解析不要)

8

PNダイオードモデル



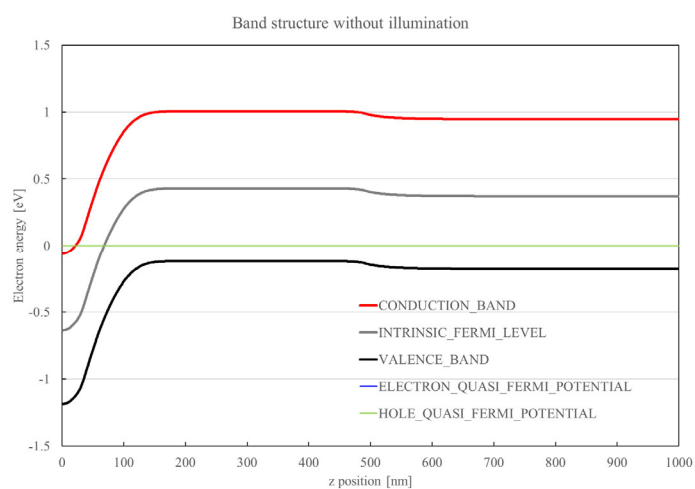
- 電子正孔対 $1e20 [cm^{-3} sec^{-1}]$ を発生させてデバイスシミュレーションを実施した。



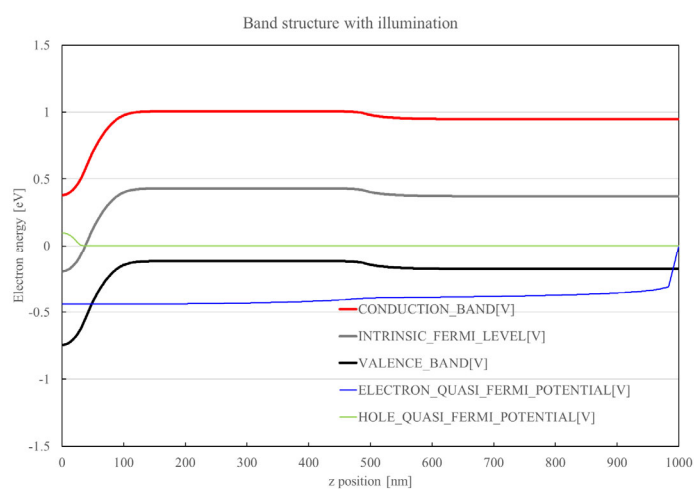
- フローティングのn型領域に電子が蓄積してn型領域の電位が下がる。

PNダイオードモデル

光照射なしのバンド構造



光照射ありのバンド構造



- 光照射によりフローティングのn型領域の電子のエネルギーが上がる。

- ParallelWaveおよびFDTD法の概要について説明した。
- 光とTCADの連成解析機能を紹介した。
- 連成解析の具体的な手順について説明した。
- 連成解析の事例として光照射したPNダイオードの結果を示した。

関連サービスのご紹介

アドバンスソフト株式会社
営業部

◇各サービスのご紹介

1. パッケージソフトウェアの販売・サポート

アドバンスソフトが取り扱っているパッケージソフトウェアは、国家プロジェクトまたは自社により開発した日本の国産製品です。

ソースコードを熟知した開発者が直接お客様のご質問にお答えするため、迅速で的確なサポートサービスをご提供することが出来ます。また、お客様のご要望に沿ったカスタマイズを行うことも可能です。

2. ソフトウェアの受託開発サービス

お客様の解決すべき課題に則した、計算科学技術用のソフトウェアを新規に開発いたします。また、お客様が現在ご利用になっているソフトウェアへの機能追加および改良にも対応いたします。

3. 解析サービス

計算科学用ソフトウェアを用いた解析計算を行います。さらに、その結果をシミュレーションの専門家ならではの見識をもって評価しご報告いたします。各種分野の専門技術者が、「お客様の課題解決にはどのような手法が有効であるか。」といったご相談にも対応させていただきます。

4. コンサルティング

CAEに関わる様々な課題をお客様と一緒に解決すべく、専門研究者がコンサルティングサポートをさせていただきます。また、「フリーソフトを使ってみたいがサポート体制が無いので不安がある。」といった声にお応えして、ParaView、LAMMPSといったフリーソフトのコンサルティングもいたします。

アドバンスソフトの開発・解析サービス

お客さまのご要望に応じて科学技術計算ソフトウェアの新規開発、機能追加、受託解析等のサービスをおこないます。

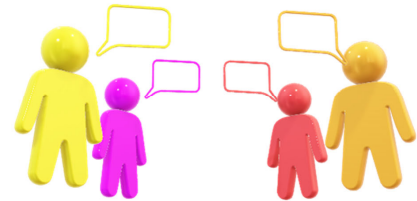


1. 流体・構造・ナノ関連など幅広い分野のソフトウェアを開発し、解析経験がある技術者がお客様のご要望をお伺いいたします。

2. 最適な解析方法をご提案いたします。

3. お客様のご了解が得られましたら、モデリングを行い、解析を実施いたします。

4. 解析結果を可視化し、解析結果の評価や考察を行なって報告書を作成いたします。



パッケージソフトウェアの解析事例

≡ アドバンスソフト解析事例集



アドバンスソフト 事例集

検索

半導体デバイス3次元TCADシステム Advance/TCAD

Advance/TCAD は、超微細半導体デバイスからパワーデバイスまでの解析において、複数デバイスの一体解析（セルレベルシミュレーション）やデバイス・外部回路（LCR）一体解析（Advanced mixed-modes）等の高度な機能と使いやすいGUIを備えた、お客さまのご要望に臨機応変に対応できる国産の3次元TCADシステムです。



- ソフトウェア名からだけでなく産業分野別、解析分野別の検索が可能となりました。
- 最新の事例を掲載しました。
今後も逐次最新事例を紹介します。

産業分野別	解析分野別
自動車・運輸	流体
材料・化学	爆発・燃焼
産業機械	構造
航空宇宙	振動音響
エレクトロニクス	ナノ・バイオ
建設土木	ブリッジ
原子力	半導体デバイス
エネルギー	光・電磁波
環境・防災	

Copyright 2025 AdvanceSoft Corp., All Rights Reserved.

関連事例

- ・ イオン注入計算事例
- ・ 幾何学的処理による高速3次元構造生成事例
- ・ 5段CMOSインバータチェーン
- ・ モータ制御デバイス解析
- ・ 大規模デバイス計算並列化効率検証事例
- ・ SRAMソフトエラーのデバイスシミュレーション

お問い合わせ先：ご担当営業まで

TEL: 03-6826-3971 FAX: 03-5283-6580

E-mail: office@advancesoft.jp



警告

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立てる用途に限定して無料配布しています。
このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。
このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。