

Advance/TCAD 統合プラットフォーム

徳屋 純一* 浜野 明千宏**

Advance/TCAD platform

Junichi Tokuya* and Achihiro Hamano**

Advance/TCAD 統合プラットフォームは、独立している 2 つのシミュレータ、プロセスシミュレータとデバイスシミュレータの入力データ作成とシミュレーション結果の視覚化、およびプロセスシミュレータからデバイスシミュレータへの計算結果の受け渡し支援を目的としたソフトウェアである。本稿では統合プラットフォームの機能と使用例について解説する。

Key word: TCAD、プリポスト

1. はじめに

Advance/TCAD では中核となる 2 つのシミュレータ、プロセスシミュレータとデバイスシミュレータは独立したプログラムとなっている。

各シミュレータは以下に示す主な特長を備えている。

- プロセスシミュレータ
 - 四面体（テトラ）メッシュによる実デバイスに近い形状表現
 - プロセスステップ単位でのシミュレーション結果出力
 - SiC 対応イオン注入
 - 拡散プロセスシミュレーションでの full 反応モデル
 - 新しい高速な形状変形モデルによるデポジションおよびエッチングシミュレーション
- デバイスシミュレータ
 - パワーデバイスの 3 次元高速解析
 - 材料定数のユーザーによる変更
 - 六面体メッシュによる計算安定性

- デバイス特性に大きな影響のない領域のメッシュを粗くすることによる計算時間の短縮
- 実際のプロセス工程に類似した 3 次元形状作成手順
- 3 次元ドーピング機能
- メッシュ点以外に、ユーザーが指定した測定点での物理量出力

統合プラットフォームでは、各シミュレータの特長を生かしたシミュレータ入力データ作成支援機能、シミュレーション結果の可視化に加え、プロセスシミュレーションにより作成したデバイス形状を元にしたデバイスシミュレーションのための、プロセスシミュレータの四面体メッシュをデバイスシミュレータ用の六面体メッシュに変換する機能を提供する。

Advance/TCAD のシステム構成図を図 1 に示す。

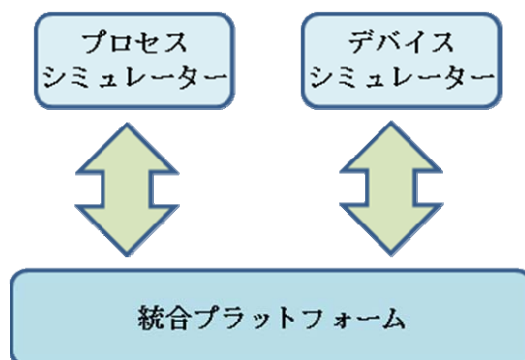


図 1 Advance/TCAD システム構成

*アドバンスソフト株式会社 総合企画部

General Planning Division, AdvanceSoft Corporation

**アドバンスソフト株式会社 第 2 事業部

2nd Computational Science and Engineering Group,
AdvanceSoft Corporation

2. 統合プラットフォームの主な機能

それぞれの詳細については、以下に説明する。

表 1 に統合プラットフォームの主な機能の一覧を示す。

表 1 統合プラットフォーム主要機能一覧

分類	機能
プロセスシミュレータ入力 データ作成支援	四面体メッシュ作成
	プロセスステップ単位でのシミュレーション条件入力
	プロセスステップのコピー
デバイスシミュレータ入力 データ作成支援	Gaussian を用いた不純物分布入力
	デバイス特性に影響のない解析領域のメッシュ間引き
	CSV 形式ファイルによる材料定数設定
	3 次元解析モデル形状表示画面での測定点指定
デバイスシミュレーション 用モデル作成	プロセスシミュレーション結果を用いた解析モデル形状作成
	プロセスシミュレータと連携しない解析モデル形状作成
シミュレーション結果可視 化	解析結果の 3 次元表示
	ユーザー指定断面での断面表示

2.1. プロセスシミュレータ入力データ作成支援

2.1.1. 四面体メッシュ作成

基板境界やマスクエッジでメッシュを細かくするように密度制御を可能としている。

密度制御時に指定するマスクファイルの形式は、プロセスおよびデバイスのシミュレーションでも使用可能としている。

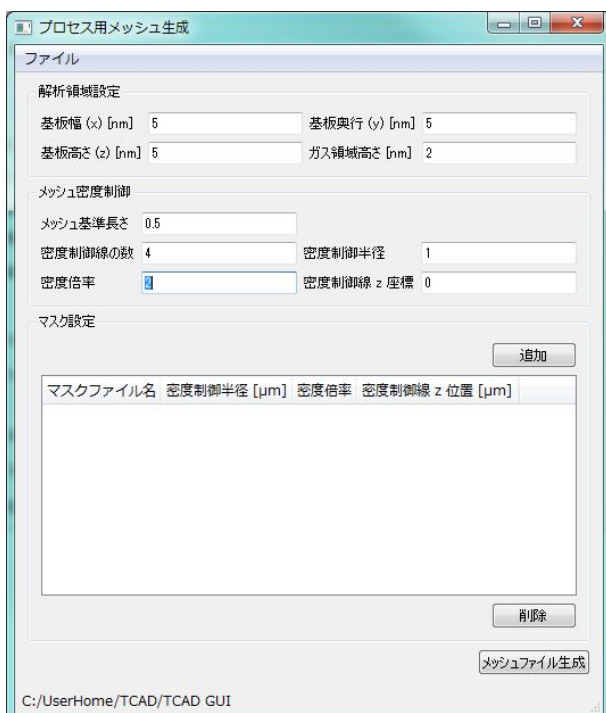


図 2 メッシュ生成パラメータ入力画面

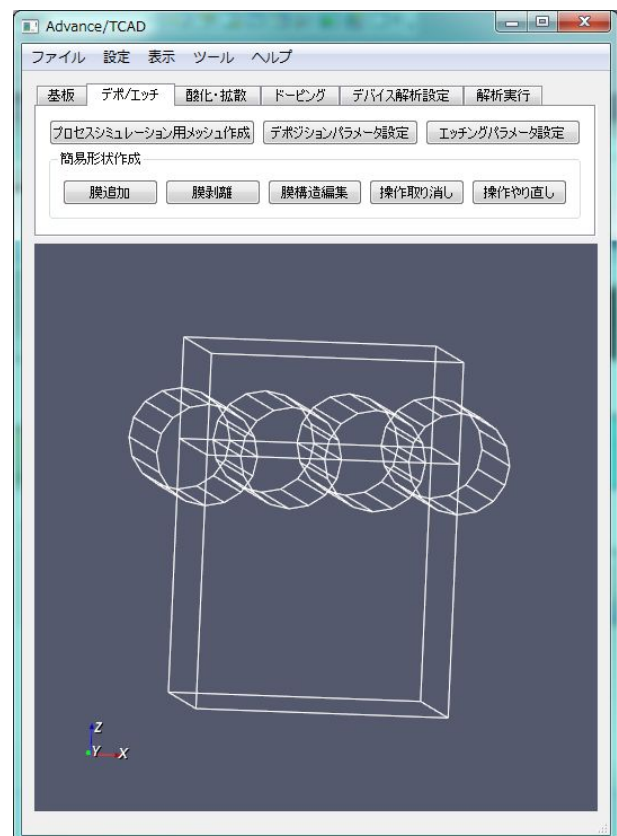


図 3 密度調整パラメータの影響範囲表示例

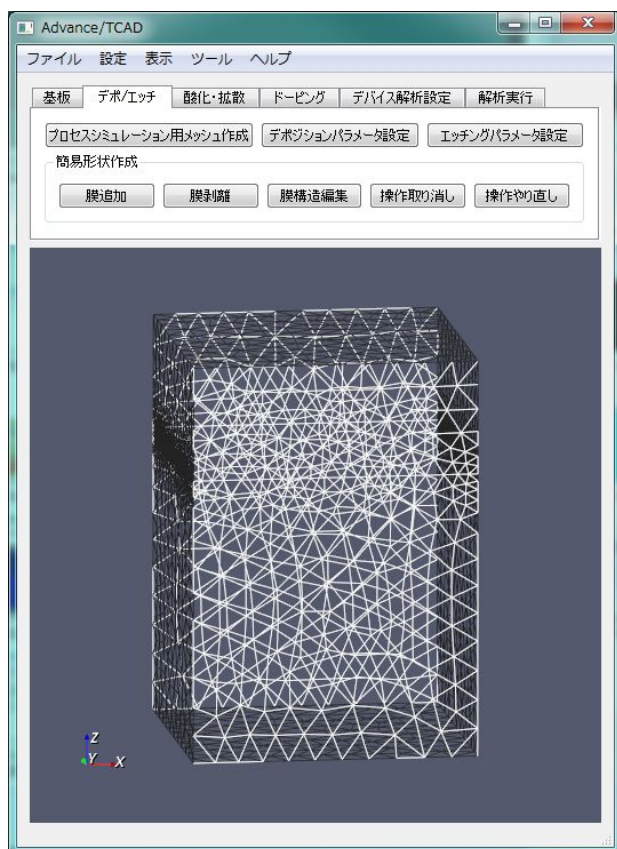


図 4 メッシュ生成結果

2.1.2. プロセスステップ入力

実際のプロセス行程に近いイメージで、エッチング、デポジション、イオン注入、酸化・拡散の各ステップのシミュレーション条件を入力可能なようにしている。

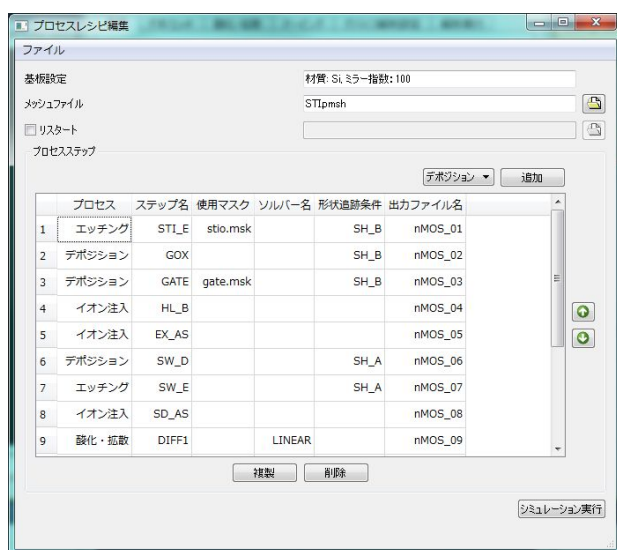


図 5 プロセスステップ一覧画面

例としてエッチングの条件設定画面を図 6 に示す。

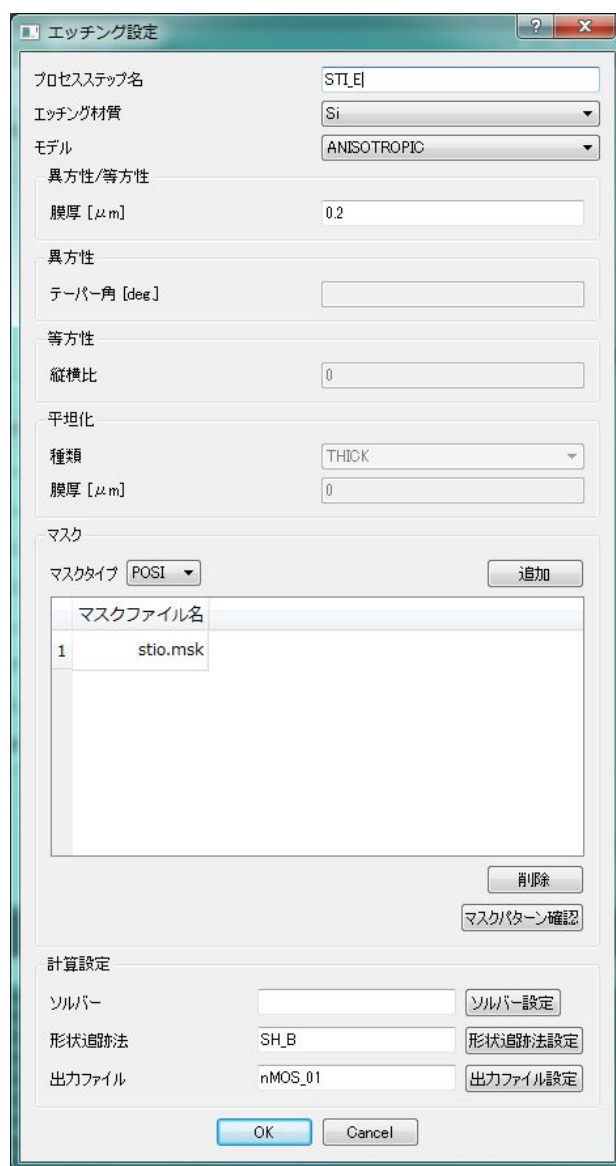


図 6 エッチング条件設定画面

エッチング材質、等方/異方、エッチング膜厚や使用マスクのエッチング条件に加え、プロセスステップにおけるシミュレーション条件の設定も可能な画面構成にしている。

デポジション、イオン注入、酸化・拡散ステップのプロセス条件設定画面でも同様の構成となっている。

プロセス条件が似たプロセスステップを作成する場合は、のプロセスステップ一覧画面下方にある複製ボタンで元になるプロセスステップを複製後、プロセス条件設定画面でプロセス条件を修正後、プロセスステップ一覧横の矢印ボタンでステップ位置の修正を行う操作としている。

2.2. デバイスシミュレータ入力データ作成支援

2.2.1. 不純物分布入力

プロセスシミュレータではイオン注入のシミュレーションを行わない場合や、デバイスシミュレータ単独でのデバイスシミュレーションを行う際、Gaussian による不純物設定を可能にしている。

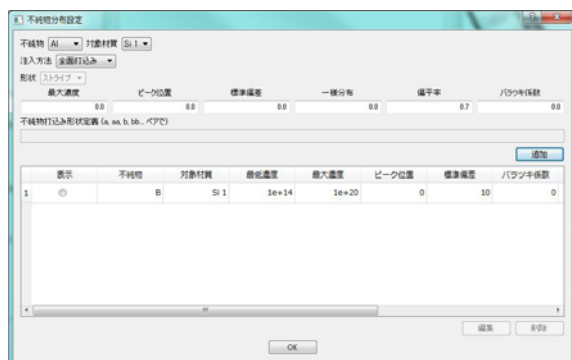


図 7 Gaussian による不純物設定画面

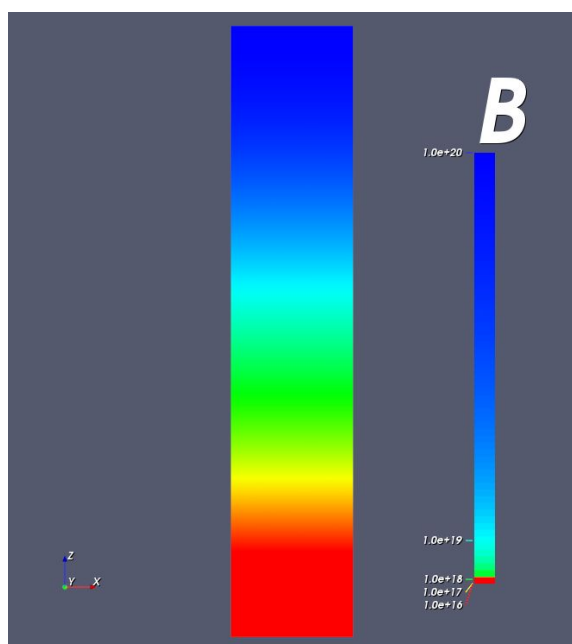


図 8 全面打ち込み設定時の不純物分布表示

不純物設定は全面打ち込み以外に、ストライプ、長方形、円、円弧、直方体の形状での打ち込み設定を可能としている。

図 9 にストライプ打ち込み設定を行った際の不純物分布表示を示す。

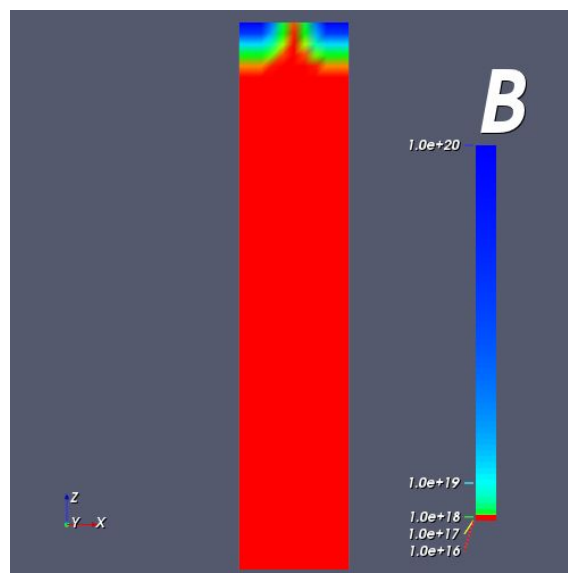


図 9 ストライプ打ち込み設定時の不純物分布表示

2.2.2. メッシュ間引き

デバイス特性に影響のない領域のメッシュを間引いて、シミュレーション計算時間の短縮を計れるようにしている。

図 10 図 11 に示すように、画面上で元のメッシュを残す領域を設定後、メッシュ間引き処理を実行することにより間引き処理を行う。

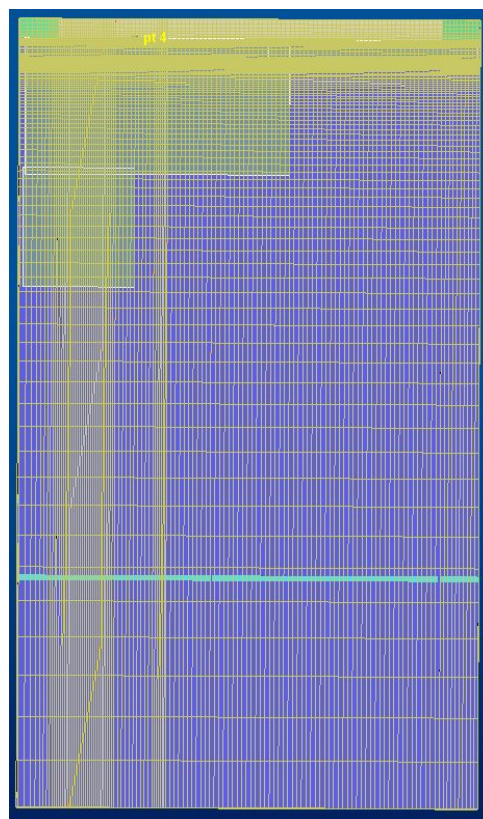


図 10 メッシュ保存領域設定

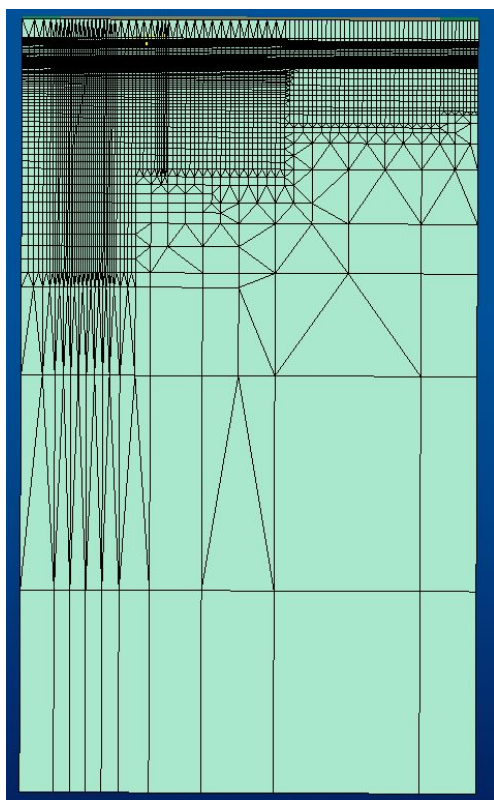


図 11 間引き後のメッシュ

2.2.3. 材料定数設定

デバイスシミュレータでは多様なデバイスのシミュレーションを柔軟に行うために、材料定数をプログラム内で固定せずユーザーによる変更を可能としている。

GUI ではその特長を生かすために、CSV 形式のファイルでユーザーが用意した材料定数定義ファイルの読み込み機能および、デフォルト値から変更した材料定数の CSV 形式ファイル出力機能を実装している。

図 12 に材料定数ファイルの一部を示す。

誘電率,1.17e1
電子親和力[eV],4.05
バンドギャップエネルギー[eV],1.17

図 12 材料定数ファイル

2.2.4. 測定点指定

デバイスシミュレータには、メッシュ点以外での物理量を知るための、測定点設定機能がある。

GUI ではデバイス解析モデルを表示してる際

に、画面の任意の箇所をクリックすることにより測定点を設定することを可能としている。

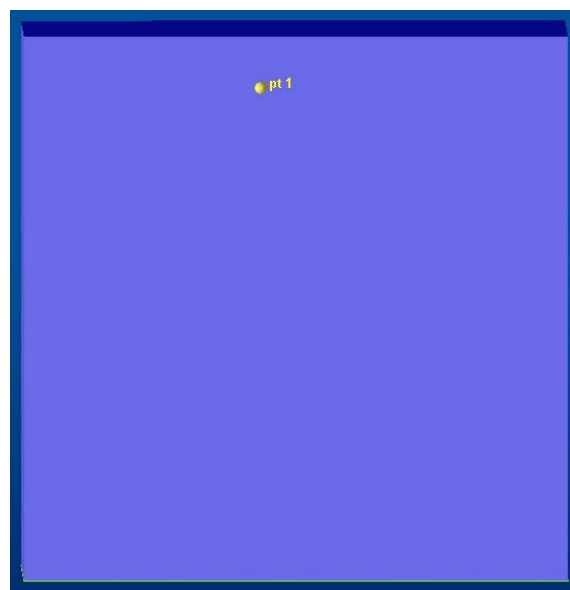


図 13 測定点指定

2.3. デバイスシミュレーション用モデル作成

2.3.1. プロセスシミュレーション結果を用いた解析モデル形状作成

プロセスシミュレーションのメッシュは、①テトラ(4面体)で、②マスクパターンを反映して自動生成され、③材質界面近傍で密にしている。これに対し、デバイスシミュレーションのメッシュは、①直方体が基本で、②形状モデルを基にユーザーが粗密指定し、③電流経路に応じて密にしている。

このように、それぞれに適したメッシュを用意する必要があり、プロセスシミュレーションの結果を用いてデバイスシミュレーションを行うために次の2つのデータ変換機能を用意した。

(1) 近似形状抽出機能

テトラメッシュで表現されるプロセスシミュレータの結果形状をデバイスシミュレータ用の直方体ブロックで近似する機能である。そのため、ブロック面に合わせた粗い直交メッシュを生成し、各直交セルの材質を設定する。

テトラメッシュのうち同一材質の一群のテトラセルの界面を X,Y,Z 軸に垂直な面で近似するに

あたり、材質境界の探索を効率で確実にするため、マスクパターンの辺近傍に探索領域を設定するようにした。これは、プロセスシミュレーションで形成される形状（すなわち材質境界）が、マスクパターンの辺の近傍にあることを利用したものである。概要を図 14 に示す。青で示したマスクパターンに対し、赤で示した探索領域を設定し（図の例では z 方向 3 層）、それぞれの範囲で材質境界 x 座標を抽出し、最終的にマージする。

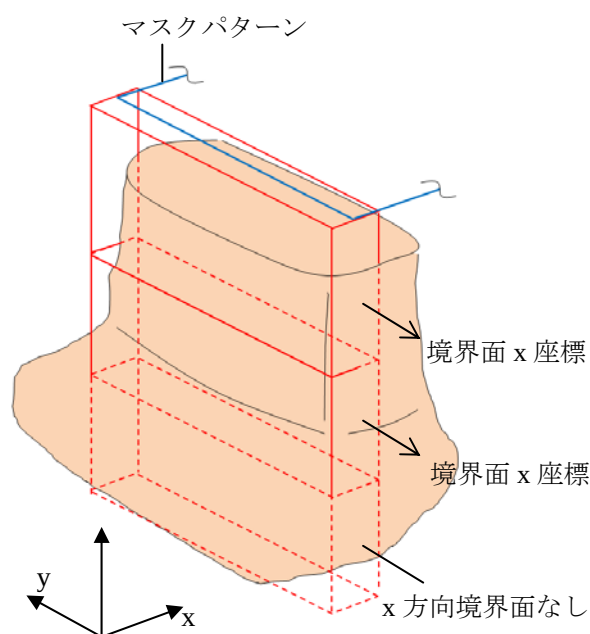


図 14 近似形状(材質境界座標)抽出の概念図

開発当初は全域を探索用のマス目で分けてそれぞれについて材質境界を探索したが、テトラセルの微小な凹凸に由来するバリが生じるなど、適切な近似直方体がえられなかった。この点を、マスクパターンを利用することで解消した。

(2)形状・濃度設定機能

直方体ブロックをデバイスシミュレータ用に適宜細分した直交メッシュに対し、プロセスシミュレータの結果の材質分布と不純物濃度分布を補間する機能である。いずれも次のように体積を基準に設定した。

プロセスシミュレータの材質分布は、各テトラセルに属性として材質を持たせることで表現される。これを図 15 のようにデバイスシミュレータの直交メッシュと重ねて、各直交セルに重なる

テトラセルを材質別に重複体積を集計し、合計が大きい材質を当該直交セルの材質とした。

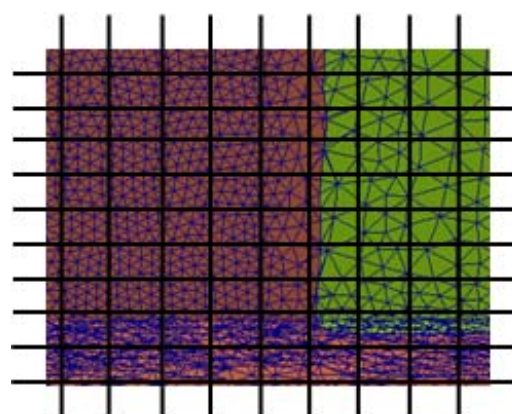


図 15 直交メッシュとテトラセル
(実際は 3 次元で、奥行きがある)

プロセスシミュレータからはテトラセルごとの不純物濃度値が計算される。一方デバイスシミュレータでは直交メッシュの節点（頂点）ごとの濃度値が必要となる。プロセスシミュレータのメッシュをデバイスシミュレータ用の直交メッシュと重ねて比較し、直交メッシュの各節点周囲の直方体領域（図 16 の破線）に重なるテトラセルの濃度値を、その重複体積で重みづけ平均して集計して、当該節点の濃度値とした。



図 16 直交メッシュのセルと
節点支配領域の関係

2.3.2. プロセスシミュレータと連携しない解析モデル形状作成

デバイスシミュレータでは六面体メッシュを採用している。

そこで、プロセスシミュレータと連携せずにデバイス解析モデル作成においては、直方体形状の生成でデバイス解析モデルを作成する GUI とした。

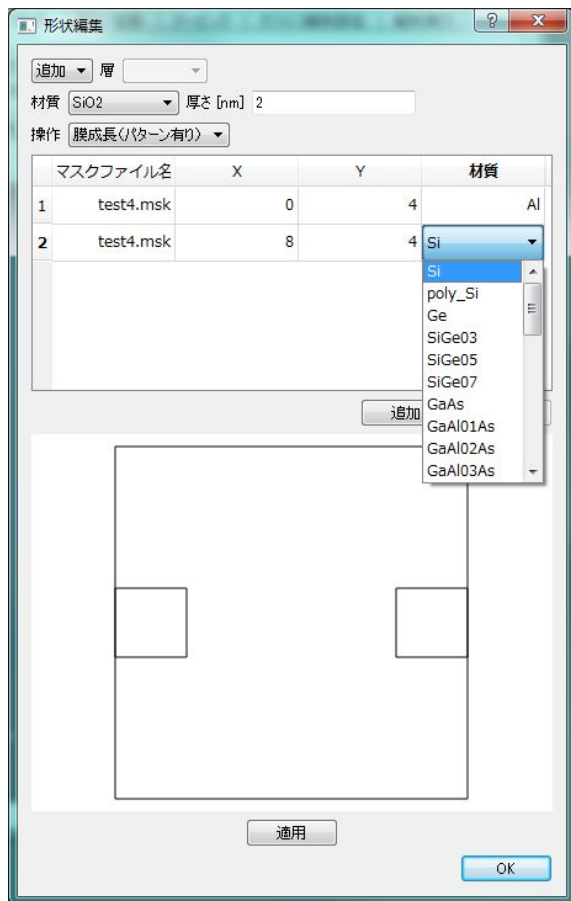


図 17 形状指定画面

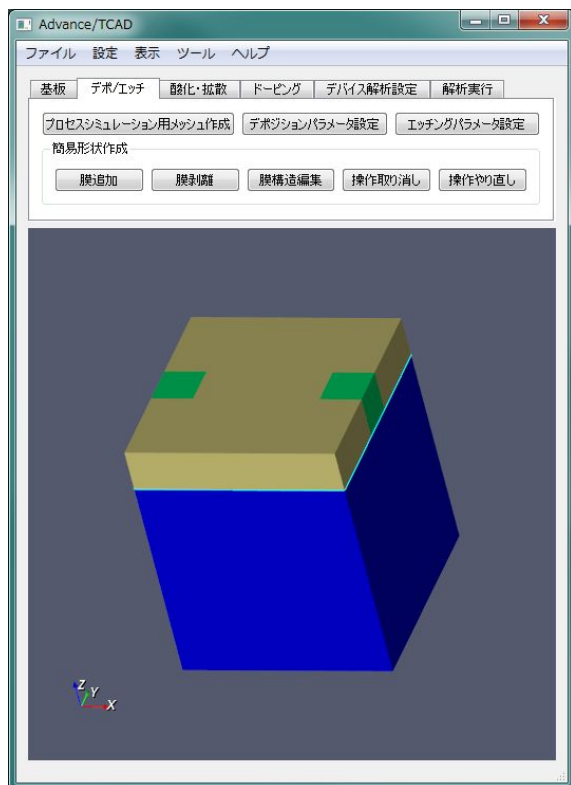


図 18 形状作成例

2.4. 結果可視化

以下にプロセスシミュレーション結果の可視化例とデバイスシミュレーション結果の可視化例を示す。

実際の画面では 3 次元表示となっており、マウス操作による画面内の形状の回転、拡大、縮小が行えるため、色々な角度からシミュレーションしたデバイスの状態の観測が可能である。

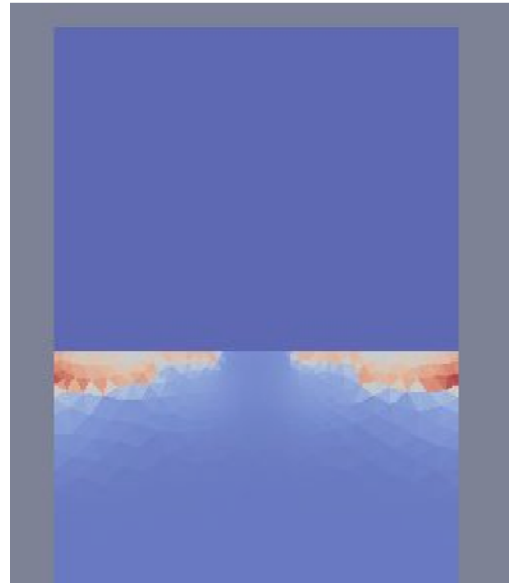


図 19 nMOS 例題で活性化した B の分布の様子

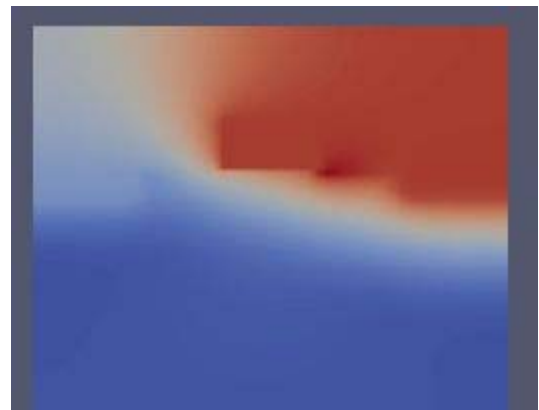


図 20 nMOS 例題での静電ポテンシャル分布の様子

※ 技術情報誌アドバンスシミュレーションは、アドバンスソフト株式会社 ホームページのシミュレーション図書館から、PDF ファイル (カラー版) がダウンロードできます。ダウンロードしていただくには、アドバンス/シミュレーションフォーラム会員登録が必要です。