

# ATHENA 1D

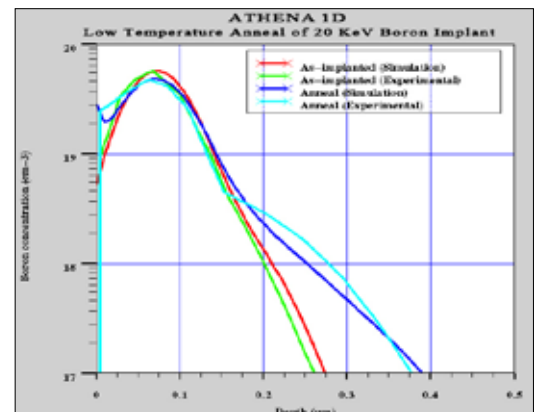
## 1次元プロセス・シミュレータ

ATHENA 1D は、業界標準の2次元プロセス・シミュレータ、ATHENA の1次元モードです。汎用的な1次元プロセス・シミュレータとして、半導体プロセスで形成されるドーピング・プロファイルや膜厚の予測に使用できます。シルバコの2次元プロセス・シミュレータであるATHENAは、さまざまな製造テクノロジーの設計と最適化のために半導体業界で広く利用されています。ATHENA 1Dは、ATHENAと同一の物理モデルを使用することで、優れた精度と極めて高速な実行を実現し、プロセス・フロー全体を非常に短い時間でシミュレートすることができます。また、ATHENA 1Dにはランタイム環境のDeckBuild、ビジュアルライゼーション・ツールのTonyPlotが付属し、使いやすい環境を提供します。入力ファイルの編集、内蔵のオプティマイザやDOE（実験計画）機能など、DeckBuildの広範な機能を活用できます。

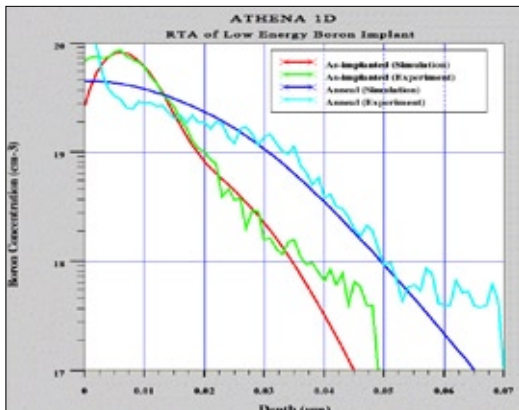
### 高度な拡散シミュレーション

低い温度でのプロセスおよび非常に浅い接合をうまく利用することは、90nmおよびそれ以下のテクノロジー・ノードでの製造上の重要な課題です。ATHENA 1Dは、点欠陥、欠陥クラスタの形成/再結合などを含む高度な拡散モデルを備えているため、低エネルギー注入、そして次に続く急速熱処理(Rapid Thermal Annealing: RTA)または炉心管を使用した低温アニール処理を正確にシミュレートできます。

### 低温度での過渡的増速拡散 (TED)



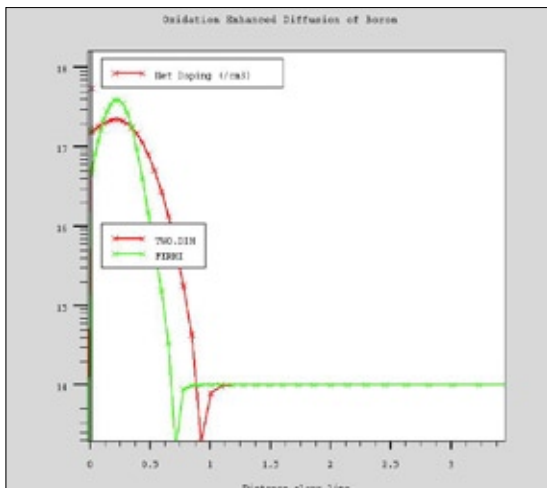
### RTA 拡散



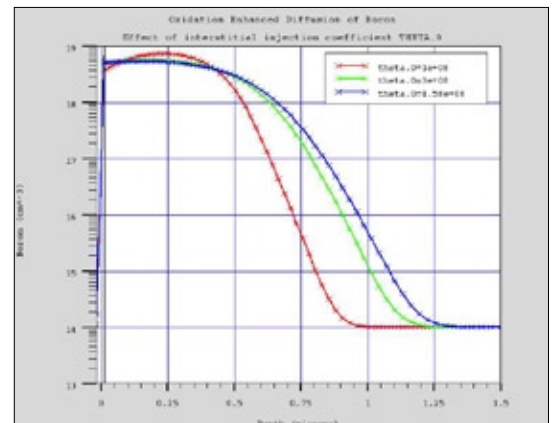
2keVで、 $1.0 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ のドーズ量をイオン注入後、1000°Cで10秒間拡散させたグラフです(B. Colombau 氏の博士論文から抜粋した実験)。このタイプのシミュレーションは非常に困難です。それは、表面での強固な欠陥再結合、およびさまざまなペアや欠陥クラスタの急速な生成/再結合を含む、いくつかの競合する現象を考慮する必要があります。このような場合においても、ATHENA 1Dの高度な拡散モデルが実験で得たプロファイルと十分一致していることが示されています。

20keVで、 $1.0 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ のドーズ量のボロンをイオン注入後、800°Cで35分間拡散させたグラフです(S.Solmi 氏他の論文から抜粋した実験)。このシミュレーションと実験から、固溶度レベル以下であっても、混合された不純物-欠陥クラスタが形成されるため、かなりの量の不純物が不活性なままであることがわかります。ATHENA 1Dは、ボロン格子間欠陥(Boron Interstitial Cluster: BIC)の高度なモデルを備えているため、この重要な効果を正確に予測できます。

### 酸化



左図は、酸化雰囲気中におけるボロンの拡散シミュレーションを示しています。点欠陥がシリコンに注入され、その注入速度は、シリコン酸化速度の関数です。点欠陥の注入により拡散が促進され、一般に酸化増速拡散(OED)と呼ばれる現象が発生します。TWO-DIMモデルは、Si/SiO<sub>2</sub>界面の酸化で生成された点欠陥(格子間原子および原子空孔)と拡散中のボロンを連成することで、OED効果を表現します。



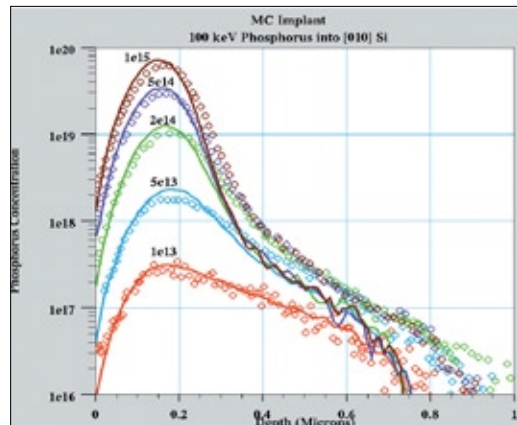
上図は、酸化増速拡散(OED)の合わせ込みのため、格子間原子注入係数THETA.0の効果を示したものです。

# SILVACO

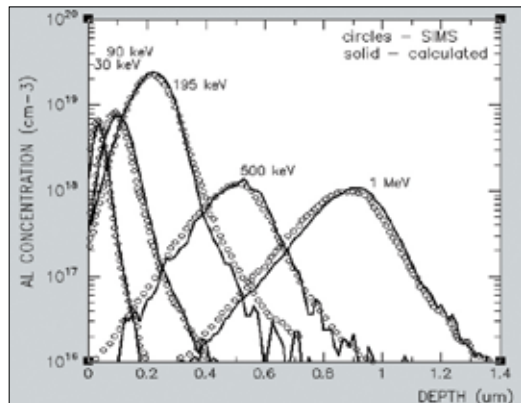
## イオン注入シミュレーション

さまざまな解析およびモンテカルロ法による注入モデルによって、広範な最新半導体製造テクノロジーで使用されるイオン注入を正確にシミュレートできます。

右図は MC Implant を使用してシミュレートした結果と、計測データとの比較を示しています。曲線は MC Implant のシミュレーション・プロファイルを表し、ひし形は SIMS で計測したプロファイルを示します。実験および計算で生成したリンの深さのプロファイルは、100keV、入射角 90°、ドーズ量  $10^{13}\text{cm}^{-2}$  から  $10^{15}\text{cm}^{-2}$  の範囲の注入条件で得たものです。実験は R.J. Schreutelkamp et al. "Channeling Implantation of B and P in Silicon, Nuclear Instruments and Methods" B55, pp. 615 ~ 619, 1991 からの抜粋です。

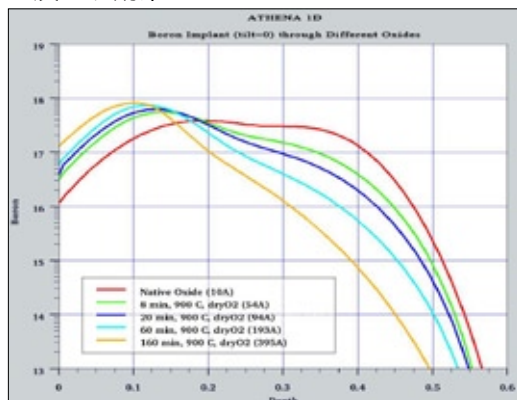


## 6H-SiC 基板へのアルミニウム注入



6H-SiC 基板へのアルミニウム注入のモンテカルロ法によるシミュレーションは、30、90、195、500 および 1000 keV で、ドーズ量  $3.0 \times 10^{13}$ 、 $7.9 \times 10^{13}$ 、 $3.8 \times 10^{14}$ 、 $3.0 \times 10^{15}$   $\text{cm}^{-2}$  の条件で行いました。そして、チャネリングを避けるために、傾き 9° で注入を行いました。SIMS で計測したデータは、Hernandez-Mangas et al. "Journal of Applied Physics" v.91, pp.658 ~ 667, 2002 より抜粋しました。

## 酸化膜厚がボロン注入プロファイルに及ぼす効果



上図は、異なる膜厚で成長させた酸化膜に対して、35keV、 $1.0 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$  でボロンを結晶軸方向に注入した際の比較を表しています。このシミュレーションでは、テキサス大学で作成されたモーメント・テーブルをベースとした SIMS-Verified Dual Pearson (SVDP) 解析モデルを使用しました。

## 物理モデルと特徴

### 拡散

- 点欠陥拡散を十分に考慮した不純物拡散
- 酸化による増速拡散および遅延拡散
- 急速熱処理および過渡的増速拡散 (Transient Enhanced Diffusion: TED)
- 高濃度効果
- 注入による点欠陥、不純物 - 欠陥クラスター、{311} 欠陥などに起因する TED 効果
- ドナー / アクセプタ相互拡散の効果

### 酸化

- シリコンとポリシリコン材料に対する別々のレート係数
- HCL および圧力による増速酸化モデル
- 不純物濃度依存の効果

### イオン注入

- 実験により検証された Pearson および Dual Pearson 注入モデル
- 非ガウス分布の深さ依存の横方向注入分布に対する関数
- エネルギー、ドーズ量、入射角、回転、酸化膜厚の違いを考慮した、拡張された注入モーメント・テーブル
- ユーザ定義の注入モーメント、またはモンテカルロ法から抽出された注入モーメント
- MC Implant モジュールとのシームレスな連携により、エネルギー、ドーズ量、入射角および回転の広範囲な変化など、1次元注入プロファイルの正確なシミュレーションが可能

## ATHENA 1D に含まれるもの

- ATHENA 1D プロセス・シミュレータ
- DeckBuild ランタイム環境
- TonyPlot ビジュアライゼーション・ツール
- 1次元モードの例題、マニュアル、日本語版チュートリアル、ソフトウェア・アップデート

サポートは含まれません。

**SILVACO**

株式会社 シルバコ・ジャパン  
www.silvaco.co.jp

お問い合わせ : [info@silvaco.co.jp](mailto:info@silvaco.co.jp)

### 横浜本社

〒244-0801  
神奈川県横浜市戸塚区品濃町549-2  
三宅ビル4F  
TEL : 045-820-3000 FAX : 045-820-3005

### 京都オフィス

〒604-8152  
京都府京都市中京区烏丸通 蛸薬師下ル手洗水町651-1  
第14長谷ビル 9F  
TEL : 075-229-8207 FAX : 075-229-8208