

育成ステージ(平成21年度終了課題)事後評価報告書

研究開発課題名： 半導体ナノCMOSプロセスシミュレータの開発

シーズ育成プロデューサー： 株式会社半導体先端テクノロジーズ

所属機関名

研究リーダー： 慶應義塾大学

所属機関名

1. 研究開発の目的

素子サイズがナノ領域に突入した現在、半導体のプロセス・デバイスを計算機上でシミュレートする TCAD 開発においては、これまでのマイクロチップ時代の経験則が通用しない。その原因は、シミュレーションに必要なナノ領域特有(多くの場合は非熱平衡)の化学反応や拡散に関する基礎物性値・変数値がほとんど分かっていないためである。本研究開発プロジェクトでは、シリコン同位体超格子という大学発の顕在化シーズを利用して次世代 TCAD 開発に不可欠なナノ領域特有の物性値を取得し、その結果をリアルタイムで TCAD 開発に取り込むことによって、半導体開発に要する期間・費用を削減するために不可欠である信頼性と高速性を有する TCAD のプロトタイプ作成を目指す。

2. 研究開発の成果

シリコン同位体超格子を用いて母体中のシリコンの動きを観測することによる拡散モデルの精密化を進め、厳密なモデルを構築した。そして、Selete が有する実用シミュレータである ENEXSS に、この厳密モデルを導入した。その導入に際して、計算時間の増大を防ぐために、厳密さを保持したまま可能な限り少ない変数でシミュレーションを行うことに重点を置いた。また、メッシュ生成技術と数値計算方法の改良によって、ENEXSS の高速化と頑健化を実現した。これらの成果を反映し、厳密モデルを Uematsu モデルとして ENEXSS に搭載した新バージョンを 2010 年 3 月にリリースした。

3. 研究開発の目標に対する達成度

育成目標	達成度
◆数値目標	
①予測する不純物拡散深さの精度を 3nm 以下にする。	①シリコン同位体超格子に B イオンを注入した後アニールを行い、二次イオン質量分析法(SIMS)を用いて Si と B 原子の拡散を同時に観測した。拡散種の荷電状態、{311}Si 格子間原子クラスターを考慮した厳密な拡散モデルを構築し、ENEXSS に実装した。このシミュレータを用いて、100nm オーダーの不純物拡散の深さについては、±10%の精度で予測することができるようになり、この精度を現在の CMOS における接合深さである 10~15nm に適用すると、3nm の精度範囲で予測できると評価できる。

②歪シリコン基板、高誘電率ゲート絶縁膜を用いた場合の不純物拡散係数の予測精度を30%以内とする。	②歪 Si における Ge の影響を評価するために、Ge 同位体超格子を用いて Ge 中の Ge、As 拡散の同時観測や As イオン注入によるアモルファス化のデータを得た。高誘電率ゲート絶縁膜の最適な材料としてハフニウムシリケート系が確定したのは1~2年前であり、高誘電率ゲート絶縁膜の影響評価研究への着手が遅れたため、未実施となった。
③不純物の電氣的活性化率の予測精度を10%以内とする。	③拡がり抵抗法(SR 法)による不純物活性化測定結果に基づいて、不活性化の原因となるB原子とSi格子間原子による不純物クラスターや不純物析出に関するモデル化を行い、不純物活性化率の予測精度を10%とすることができた。今後、不純物活性化の精密なモデル化を行う。
◆技術的解決目標	
④非熱平衡状態で求めた拡散モデルとそのパラメータの摘要範囲を検証するために、比較的長時間拡散における拡散・酸化の実験データをシミュレーションする。	④本プロジェクトで構築した拡散モデルとそのパラメータの妥当性を検証する目的で、低濃度の不純物拡散実験を熱平衡状態で行い、拡散シミュレーションで最も重要なパラメータである不純物真性拡散係数を精密に決定した。決定した真性不純物拡散係数をENEXSSのUematsuモデルのパラメータとして実装した。
⑤TCADシステムENEXSSのプロセスシミュレータ(HySyPro s)を改良し、頑健化および計算時間の短縮を図る。	⑤ナノ CMOS の微細な形状変化および不純物変化に追従可能なメッシュ生成ソフトの導入により、頑強性が向上した。連立偏微分方程式を安定して解くための数値計算アルゴリズム、並列化計算機能の追加により、計算時間が短縮された。

4. 今後の展開

育成ステージが完了した今後一年間は委託研究の形で共同研究を継続し、本プロジェクトで構築した Uematsu モデルの有効性を検証して、より広いプロセス条件に適用できるようモデルの強化を行う。具体的には、高濃度不純物拡散、複数拡散種、短時間アニール、3次元への適用について検証を行い、不純物の不活性化、イオン注入誘起欠陥についてモデルの有効性を検討する。その検討に基づいて構築したモデルを ENEXSS に搭載し、シミュレータの強化を図る。

5. 総合所見

概ね期待通りの成果が得られた。学の優れた基礎研究力と産の組織的開発力の効果的な連携を実現し、拡散係数の高精度測定や新たな拡散モデルの構築を行い、その成果を組み込んだ TCAD バージョンアップ版の関係企業へのリリースを達成した。

国際的競争力の点では、TCAD ソフトウェア商品としての総合的技術は優勢な競合手を凌駕するまでに至っていないが、有用な部分においてはそれを上回る機能・技術が開発され、国内デバイス・メーカーや大学で使われている。ナノ半導体の先端開発において TCAD を活用することが不可避であり、産の側が今後の展開構想を明確にして産学連携の継続・拡大・発展を図ることが強く望まれる。

以上