



Title	ULSI開発のための3次元プロセスシミュレーションに関する研究
Author(s)	藤永, 正人
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/41228">https://hdl.handle.net/11094/41228</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	藤 永 正 人
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 2 3 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 年 12 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第2項該当
学 位 論 文 名	ULSI開発のための3次元プロセスシミュレーションに関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 谷口 研二 (副査) 教 授 濱口 智尋 教 授 森田 清三 教 授 吉野 勝美 教 授 尾浦憲治郎 教 授 西原 浩

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は微細半導体素子の3次元プロセスシミュレーションに関する研究の成果をまとめたものである。本研究のポイントは、物質表面の面積や曲率の導出方法とその意味を明らかにしながら、形状シミュレーションの3次元化の問題を解決したことにある。そして、それに伴い現れる形状計算部と直交メッシュを用いた不純物計算部の整合性の問題を材質境界で不純物分布が連続となる新しい偏析モデルを用いることにより、3次元形状・不純物統合化プロセスシミュレータを開発した。本文は以下の6章で構成されている。

第1章では、半導体シミュレーションの概要とプロセスシミュレーションの歴史を概観し、プロセスシミュレーションの問題点や課題を述べた。そして、本研究の背景とその目的を明確にし、研究内容を概説した。

第2章では、エッチングと光リソグラフィの現像後の形状をシミュレーションする新しい形状表現モデル、修正拡散モデル (MDM: Modified Diffusion Model) について提案した。修正拡散モデルでは物質形状を等値面で表し、拡散方程式を解くことによって、時間発展する形状を追跡する手法である。また、このモデルは体積率を用いた等濃度表現法の元になった。そして、光リソグラフィシミュレーションモデルと修正拡散モデルを用いたレジスト形状シミュレーション例を示し、有効性と問題点について議論した。

第3章では、巨視的な物質形状を観測という物理的な観点から説明し、修正拡散モデルを越える新しいモデル（体積率を用いた等濃度表現法）を提案した。そして、等濃度表現法を用いて、世界で初めて開発した斜めの面と連続工程を同時に安定して扱える3次元形状シミュレータ3-D MULSSについて説明した。このシミュレータを用いたエッチング、デポジションのシミュレーション例、光リソグラフィを含めた連続工程の3次元形状シミュレーション例を紹介した。

第4章では、3次元空間における局所的な表面位置の曲率を一意に決定する手法を提案し、表面張力によるBPSGの平坦化フローの3次元モデルを紹介した。このモデルによるシミュレーションと実測値を比較し、850°Cでのトータル不純物濃度と疑似拡散係数の関係を導出した。また、この手法がオーバーハング形状などの3次元の形状に応用できることを立証した。

第5章では、3次元形状・不純物統合化プロセスシミュレータ3-D MIPSの機能とその応用例を紹介した。特に、直交メッシュを用いた不純物拡散部との整合をとるため、材質境界で不純物分布が連続となる新しい偏析モデルを組み込んだ。また、熱拡散の数値計算において、陽解法のDufort-Frankel法に対する時間ステップ制御方法を提案し、安定な計算に成功した。3-D MIPSの応用例として、LOCOS分離を含むnチャネルMOS Tr.構造の3次元シミュレーションと狭チャネル効果、配線容量と接合容量の3次元シミュレーション、DRAM電荷蓄積電極容量のシミュレーションをあげ、精度や計算速度が十分実用に耐えることを立証した。

第6章では、本研究の成果とその問題点や課題を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

半導体素子の微細化とともに、素子形状や不純物分布を数値計算によって予測するプロセスシミュレーションを用いて、LSIを効率的に開発することが必須となってきている。プロセスシミュレーションは他の半導体シミュレーション（デバイスシミュレーションや回路シミュレーション）に比べると完成度が低く、まだ多くの課題が残されている。その一つがプロセスシミュレーションの3次元化である。

本論文では、形状シミュレーションの形状表現手法に関する従来のモデルの問題点を明確にして新たな3次元モデルを提案している。そして、その形状表現手法と整合性のよい材質境界で不純物分布が連続となる偏析モデルを用いた3次元プロセスシミュレーションの研究開発について記述している。この研究の内容には独創性と、新しい知見が含まれている。その主要な点はつきの通りである。

- (1) 従来の形状表現モデルを3次元化した場合、計算が不安定であったり、斜めの面が表現できないなどの問題があった。本論文では、素子形状を等値面で表す修正拡散モデルを提案し、3次元素子形状の推移が安定に計算でき、斜めの面も正確に表現でき、実用的な時間で3次元形状の計算が可能であることを示している。しかし、実際のLSI素子形状の計算に必須な複数材質と連続工程のシミュレーションには、メッシュ生成に多大な負担がかかる問題を抱えている。
- (2) (1)の修正拡散モデルを複数材質と連続工程のシミュレーションに利用するため、新しい物質体積率を用いた等濃度表現法を提案し、この形状表現法を用いた3次元形状シミュレータを開発している。その応用例として、デポジション、エッチング等の計算例と、複数材質と連続工程のシミュレーション例を示し、これにより複数材質と連続工程の3次元形状シミュレーションが安定して可能で、斜めの面も表現できることを立証している。
- (3) 表面張力に起因するBPSG膜のフローを3次元シミュレーションするには、3次元空間での物質表面の曲率を導出する必要がある。従来は三角パッチで形成された3次元形状に対する曲率を一意に決定することが困難であった。本論文では、3次元空間での局所的な表面位置での曲率を一意に決定する手法を提案し、表面張力によるBPSGの平坦化フローの3次元モデルを示している。
- (4) 直交メッシュを用いた不純物拡散計算部と形状計算部の整合をとるため、材質境界で不純物分布が連続となる新しい拡散と偏析を統一した式を提案し、3次元形状・不純物統合化プロセスシミュレータを開発している。その応用例として、LOCOS分離を含むnチャネルMOS Tr.構造の3次元シミュレーションと狭チャネル効果、配線容量と接合容量の3次元シミュレーション、DRAM電荷蓄積電極容量のシミュレーションをあげ、精度や計算速度が十分実用に耐えることを立証している。

以上のように、本論文は、プロセスシミュレーションにおける3次元モデルについて多くの知見をもたらし、プロセスシミュレーションを用いたLSI開発に重要な情報を提供するもので、電子工学に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。