

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 （ 工 学 ）	氏名	馬 晨月
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目 Development and Verification of Compact Model for NBTI (Negative Bias Temperature Instability) Effect Observed in p-MOSFET (p-MOSFET における NBTI(Negative Bias Temperature Instability)効果のモデル開発)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	三 浦 道 子	
審査委員	教 授	マウリツェ ハンス ユルゲン	
審査委員	教 授	東 清 一 郎	
審査委員	北京大学教授	H e , J i n	
〔論文審査の要旨〕			
<p>トランジスタの微細化とともに pMOSFET で顕著になってきた Negative Bias Temperature Instability (NBTI) と呼ばれる劣化現象のモデル化とこれを用いた回路劣化シミュレーションの実現を目指した。</p> <p>回路劣化の解明とこのモデル化は回路の信頼性確保に不可欠であるため、これまで多くの研究者によって劣化測定実験が実施されている。大きく分けて、二つの異なる劣化理論が提案されており、それぞれの特徴について述べている。しかし実際には両モデルとも回路シミュレーションに応用可能なコンパクトモデルとしての完成には至っておらず、実時間回路劣化シミュレーションは実現されていない。そこで本申請者は、実用可能な回路劣化シミュレーションに向けて、劣化モデルの開発、実測値の再現、更にコンパクトモデル HiSIM への組み込みを実施した。</p> <p>論文は以下の6章から構成されている：</p> <p>第1章では、近年の半導体デバイスの発展について概要を述べ、この中で特に近年になって pMOSFET で観測されてきた Negative Bias Temperature Instability 効果について焦点を当てている。微細化延命のための様々な技術開発が NBTI 効果の原因となっていることを、文献を参照しながら明らかにし、解明されていない問題についてまとめている。</p> <p>第2章では、二つの代表的な NBTI モデルについて述べている。一つが反応拡散 (Reaction-Diffusion) モデルでもう一つがホール捕獲 + 界面準位形成 (Hole Trapping+Interface-State Generation) モデルとなっている。前者は様々な詳細な測定を再現することが難しいが、後者は微視的な捕獲準位に基づくモデルで、測定結果を科学的現象として説明できることをまとめている。</p>			

第3章では、Reaction-Diffusion モデルの原理を回路モデルに適用するべく、式の簡略化、拡張を実施している。提案されている従来のモデルでは印加電圧が低い場合に実測値を再現しない理由は、従来のモデルで重要な役割を果たす水素の拡散原理に問題があったとした。これを改良すべく、拡散がスロープロセスとして、MOSFET の酸化膜内水素が更なる反応を抑制する (Reaction-Limited-Diffusion) モデルを開発した。様々な実測値と比較検討を行い、ホール捕獲モデルが低印加電圧で支配していることを明らかにした。

第4章では、劣化の原因をホール捕獲で統一的にモデル化することを試みた。二つのメカニズムがあるとした。一つがホール捕獲で、これを物理定数によって記述している。もう一つが捕獲準位の生成で、主に印加電圧が高い時に顕著になることを述べている。これら二つのモデルによって、様々な測定結果が良好に再現できることを示している。特に、これまで成功していなかった経年劣化の印加周波数依存性がよく再現できることを証明した。

第5章では、開発したホール捕獲に基づくモデルを回路シミュレーションモデル HiSIM に組み込んで、様々な基本回路特性を評価している。印加条件を様々に変えて基本回路が実時間で劣化していく様子をシミュレーションしている。シミュレーション結果は文献で測定されている結果を再現していることを明らかにしている。

第6章では、開発した様々なモデルの新規性と得られた新たな知見をまとめている。特に経年劣化の原因は、高エネルギーキャリアによる捕獲準位の生成によることを明確に述べている。

以上の審査の結果、本論文の著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判断する。