

氏名(本籍)	あか さか やす し (北海道) 赤坂泰志		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第4259号		
学位授与年月日	平成19年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	高集積LSIにおけるMIS型FETの高性能ゲート電極の研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	山部紀久夫
副査	筑波大学教授	理学博士	名取研二
副査	筑波大学教授	理学博士	秋本克洋
副査	筑波大学教授	工学博士	村上浩一

論文の内容の要旨

半導体集積回路では、微細化により、高性能化を達成してきた。現在も、その基本となるスケーリング則は、大筋引き継がれており、最先端LSIでは、従来のゲート絶縁膜材料であるSiO₂を用いた場合は1.1nm程度の極薄膜となる。しかし、このような極薄膜では、量子力学的な効果によるリーク電流が支配的になり著しく増大する。エレクトロニクスの省エネルギー化傾向に対して、このリーク電流の抑制は急務である。

リーク電流の抑制に効果的なゲート絶縁膜材料として、高誘電率金属酸化物薄膜が広く検討されている。ここでは、ゲート電極材料も、従来の多結晶シリコン膜から金属膜への代替が必要とされている。

本論文では、従来のSiO₂膜をゲート絶縁膜での金属ゲート電極技術と、次世代絶縁膜として期待が高いHfO₂系絶縁膜に対応する金属ゲート電極技術を論じている。

第2章では、SiO₂ゲート絶縁膜に対応する低抵抗ゲート電極としての、ポリメタル(多結晶シリコンと金属タングステン膜との積層)電極の研究結果を報告している。積層構造では、信頼性を確保するために、多結晶シリコン膜を酸化するが、タングステン膜は酸化しないことが望ましく、それを達成するためにH₂/H₂O雰囲気での選択的な酸化を構築した。また、タングステン酸化時のウィスカの抑制法の導入など集積化技術を構築している。加えて、ゲート電極形成に続くコンタクトプロセスの微細化を可能にする方法として窒化シリコン膜により側壁保護を可能にする集積化プロセスを提案している。

第3章では、メタルゲート電極に関する諸問題を検討している。最先端LSIではCMOSが主流であり、同一基板表面にp-チャネルとn-チャネルのトランジスタが作成される。それぞれは、低消費電力化のため、仕事関数の異なるゲート電極材料の適用が必要とされている。まず、それぞれの材料的な特徴を述べ、材料選択の基本的な考え方を示している。つづいて、最先端LSIの製造工程においてメタル電極材料が受ける熱的損傷などの課題を挙げ、それらに対応する大きな技術動向として低温プロセスの可能性を検討している。また、回避困難な高温プロセスでの課題についても、実験的に示している。また、高温プロセスの検討では、High-kゲート絶縁膜に起因する課題として、膜中の過剰酸素の吸い出し的な効果を期待して、ゲート電極の上層に酸素親和性の強い金属を積層することが効果的であることを分析結果を加えて証明している。

さらに、p-チャネルFET用ゲート電極において顕著に現れる見かけ上の仕事関数の変動、つまり、仕事

関数の異なるゲート電極を用いても、しきい値電圧にその変化が現れない現象についてのメカニズムを、膜中の酸素欠損の存在により、電極との界面に双極子を形成し、その量が自己制御的に決まるため、ゲート電極の仕事関数の差が失われるという機構で定性的に説明している。

審 査 の 結 果 の 要 旨

半導体集積回路における金属ゲート電極の導入を目的に、ゲート絶縁膜が SiO_2 の場合には、タングステンと多結晶シリコン膜との積層に窒化タングステンの挿入、選択酸化法、窒化シリコン膜の被覆などの技術を提案し、その効果を実験的に確認している。また、次世代 LSI への提案として、金属ゲート電極の課題を実験的に示すとともに、その対策をその機構とともに提案している。

その研究内容は、博士（工学）学位受領に値するものである。

よって、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認める。