

氏名(本籍)	田 ^た 村 ^{むら} 知 ^ち 大 ^{ひろ} (茨城県)			
学位の種類	博士(工学)			
学位記番号	博甲第5637号			
学位授与年月日	平成23年3月25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	高誘電率ゲート絶縁膜を用いた MOSFET のしきい値電圧経時変化			
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	工学博士	上殿 明良	
副査	筑波大学連携大学院教授	工学博士	金山 敏彦	
副査	筑波大学准教授	工学博士	大毛利 健治	

論文の内容の要旨

最先端半導体集積回路では、従来のシリコン熱酸化膜の代替技術として、高誘電率ゲート絶縁膜が一部で採用されているが、信頼性が危惧され、その技術の採用拡大には、未だ至っていない。先行半導体メーカーも、その技術の実態を明らかにしていない。

本研究では、信頼性課題の一つとして挙げられている動作中でのしきい値電圧の変動に関して、調査を進めてきた。

しきい値電圧の時間変化は、シリコン酸化膜をゲート絶縁膜とする MOSFET でも、かなり以前から議論されてきたが、極薄シリコン酸化膜では不明な点も多い。

まず、極薄の高誘電率ゲート絶縁膜を用いた MOSFET では、ストレス印加初期において、比較的短時間のうちに変化した後、飽和傾向を示すが、その後は、完全飽和することなく、変化し続ける。まず、従来、ストレス時間の対数変化に対して、しきい値電圧も対数変化するとされ、しきい値電圧はストレス印加時間他にいして1/6乗に変化することに対して、界面準位の増加によると説明されてきた。しかし、実際の特性は、必ずしも1/6乗に比例するとは限らず、その劣化機構については、必ずしも界面準位だけではないと疑問視されていた。

本研究では、しきい値電圧の時間変化の特性において、界面準位の時間を分離することを試みている。界面準位は、charge pumping 法により、ストレス印加の間、間歇的に評価することで、時間変化を求めた。測定されたしきい値電圧の界面準位による成分を差し引きすることで、膜中の電荷捕獲による成分と分離した。さらには、電荷捕獲成分によるしきい値電圧変化において、長時間領域での成分と短時間成分に分離し、注入正孔密度に対して線形に増加する長時間成分の温度加速性を評価し、その活性化エネルギーを求め、約0.03eVと低いことが明らかとなった。一方、短時間領域の膜中での電荷捕獲による成分を複数の捕獲断面積からなる捕獲成分であることを明らかにした。それらの捕獲断面積は、極めて小さいものの飽和傾向から、既存の電荷捕獲中心での捕獲と考えるのが妥当である。その捕獲断面積については、他の報告によるものに比較して、2-3桁小さくなっている。つまり、これは、極薄膜でのトンネル効果により、基板表面から高誘電率ゲート絶縁膜とほとんど相互作用することなく、ゲート電極に通過した正孔も、注入正孔密度に加算さ

れているためと考えられる。以上により、界面準位による成分、既存の電荷捕獲中心での捕獲成分、ストレスにより生成された捕獲中心への捕獲成分と分離することに成功している。

つぎに、熱処理雰囲気による上記成分の変化から、その要因を実験的に明らかにした。

つまり、一旦ストレスを印加した後、400℃での熱処理を微量 O₂ 中と H₂ を添加した N₂ 中で 30 分熱処理を施し、特性回復を行った。ほぼ特性は、1st ストレス以前に回復していることを電気的特性により確認している。その後、2nd ストレスを 1st ストレスと同様に印加し、しきい値電圧の時間変化を比較したところ、H₂ を添加した N₂ の熱処理により、界面準位が同様の劣化を示した。これは、広く知られているシンター熱処理効果と同様に、H 原子が Si/SiO₂ 界面の界面準位の生成・消滅によると結論することができる。そして、この雰囲気での熱処理は、膜中のストレス印加によって生成された捕獲電荷の回復は不十分であることも明らかとなった。一方、微量 O₂ 中での熱処理では、逆に界面準位の回復は不十分であるのに対して、膜中の電荷捕獲中心の回復は十分になされることが明らかとなった。この結果は、電荷捕獲中心の生成には、膜中の酸素が深く関与し、雰囲気への O₂ の添加によって、400℃の低温でも回復しうるものであることを明らかにした。

このような実験結果は、しきい値電圧の変化が界面と酸素関連の膜中の電荷捕獲によるものであると指示する。

これらの結果を考察し、ストレス印加下では、膜中で V₀ と I₀ の解離を示唆することを述べた。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究では、しきい値電圧の時間変化が、界面準位や膜中の電荷捕獲など一種類の要因によるものであるとされていたことに対して、詳細に要因分離を進めることにより、少なくとも、界面準位と膜中電荷捕獲の両方が関与し、かつ、後者には、既存のものと、ストレスにより生成するものとの考慮する必要があることを実験的に明らかにしたものである。

また、熱処理による回復との組み合わせによる実験により、界面準位の期限が O 終端ダングリングバンドであり、膜中の既存および生成する電荷捕獲が O 原子と関連が深いことを明らかにした。

このように、提案された本研究での評価方法はオリジナリティーも高く、しきい値電圧の時間変化を成分分離したことは、もちろん、得られた結果と共に、今後の成膜プロセスによる信頼性改善に有用な情報を提供すると共に、工学的意義は大きいと考える。

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。